



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
de Sismología



Sismo de Ica del 30 de Enero del 2012
(6.3 Mw)

ASPECTOS SISMOLOGICOS

Por:

Hernando Tavera
Cristhian Flores
Isabel Bernal
Cristobal Condori
Luz Arredondo
Efrain Fernandez

Informe Técnico N° 01-2012

Lima-Perú
Enero, 2012

Dirección de Sismología

Tavera, Hernando

Agüero, Consuelo

Arredondo, Luz

Bernal, Isabel

Condori, Cristóbal

Delgado María

Fernández, Efraín

Flores, Christian

Guardia, Patricia

Martínez, Julio

Millones, José

Rodríguez, Simeón

Salas, Henry

Torres, Liliana

INDICE

1.- INTRODUCCION

2.- SISMO DE ICA DEL 30 DE ENERO DEL 2012

2.1.- PARAMETROS HIPOCENTRALES

2.2.- INTENSIDADES

2.3.- REPLICAS

2.4.- ORIENTACION DE LA FUENTE

2.5.- MOMENTO SISMICO Y RADIO DE RUPTURA

3.- ACELERACIONES MAXIMAS

3.1.- ESPECTROS DE AMPLITUD

4.- DISCUSION

BIBLIOGRAFIA

1.- INTRODUCCION

El Perú se encuentra en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico y en su borde occidental se desarrolla el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana a una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999), siendo el mismo responsable de la actual geodinámica y geomorfología presente sobre todo el territorio peruano. Este proceso es responsable de la ocurrencia de sismos de diversa magnitud y focos ubicados a variadas profundidades, todos asociados a la fricción de placas (oceánica y continental), deformación interna de la placa oceánica por debajo de la cordillera y deformación cortical a niveles superficiales.

En el Perú, la ocurrencia de sismos es continua en el tiempo y cada año el Instituto Geofísico del Perú, registra y reporta un promedio de 150 sismos sensibles en el territorio peruano con intensidades mínimas de II-III (MM) y magnitudes $ML \geq 4.0$. Los sismos con magnitudes mayores son menos frecuentes y en general, tienen su origen en el proceso de fricción de placas produciendo importantes daños en áreas relativamente grandes, tal como sucedió en la región Sur de Perú el 23 de Junio de 2001 ($M_w=8.2$) y en Pisco, el 15 de Agosto de 2007 ($M_w=7.9$).

Los sismos con origen en los procesos de deformación de la corteza a niveles superficiales son menos frecuentes, pero cuando ocurren, producen daños de consideración en áreas relativamente pequeñas, por ejemplo los sismos del Alto Mayo (San Martín) del 30 de Mayo de 1990 y 5 de Abril de 1991, ambos con magnitudes de 6.0 y 6.5 M_w . Sismos con foco intermedio, pocas veces son sensibles en superficie, pero cuando alcanzan magnitudes ≥ 7.0 presentan gran radio de percepción y algunas veces producen daños leves en viviendas y procesos de licuación de suelos y/o deslizamientos de tierra y piedras en zonas de gran pendiente. El análisis de la distribución espacial de la sismicidad en el Perú (Figura 1), permite identificar la ubicación de las principales fuentes sismogénicas, todas descritas ampliamente por Tavera y Buforn (2001) y Bernal y Tavera (2002).

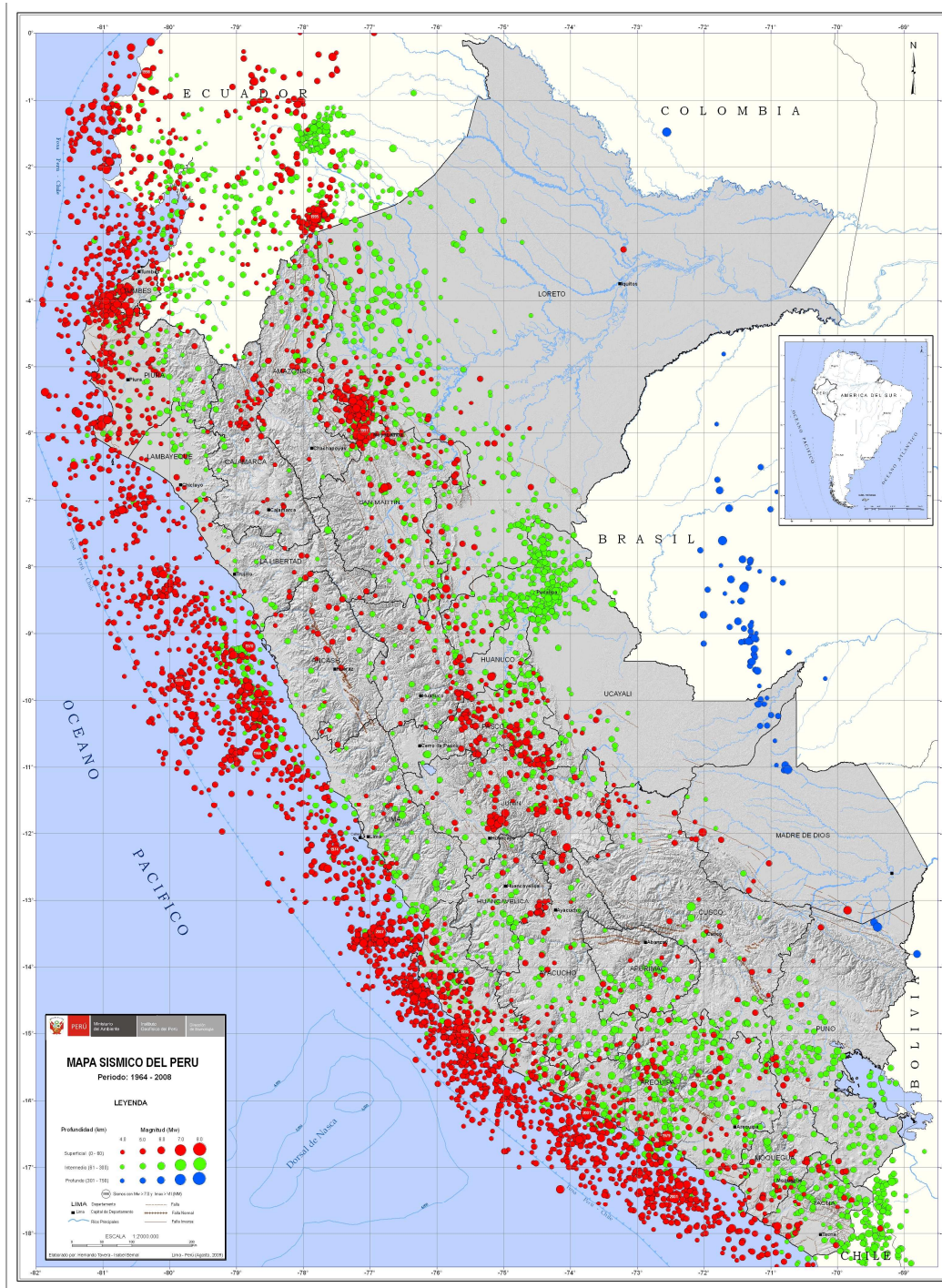


Figura 1.- Mapa Sismico del Perú para el periodo 1964 y 2008. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos. Los círculos con número inscrito en su interior indican la ubicación y año de ocurrencia de los grandes sismos.

En la zona sur de la región central del Perú, el día 30 de enero del 2012, ocurre un sismo de magnitud moderada (6.3 Mw) y epicentro ubicado a 40 km al SO de la ciudad de Ica (Departamento de Ica). El sismo ocurrió a una profundidad de 49 km (foco superficial) y en general, presentó un área de percepción con radio del orden de 300 km ($I_{max}=II$), siendo mayor su intensidad en la ciudad de Ica. En este informe se presenta los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas, réplicas, orientación de la fuente y su respectiva interpretación sismotectónica.

2.- SISMO DE ICA DEL 30 DE ENERO DE 2012

2.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 30 de Enero del 2012 fueron obtenidos utilizando información de las estaciones sísmicas que integran la Red Sísmica Nacional (RSN) y Red Sísmica Satelital para la Alerta Temprana de Tsunamis (REDSSAT). Los valores calculados son (Figura 2):

Tiempo Origen:	05h 10 min del día 30 de Enero, 2012 (Hora Universal) 00h 10 min del día 30 de Enero, 2012 (Hora Local)
Latitud Sur:	-14.315°
Longitud Oeste:	-76.002°
Profundidad:	49 km
Magnitud:	6.3 ML
Epicentro:	A 40 km al SO de la ciudad de Ica
Intensidad Máxima:	VI (MM) en la ciudad de Ica
Momento Sísmico:	3.6 E+25 dina-cm
Magnitud Momento:	6.3 Mw (análisis espectral)

En la Figura 2 se presenta la ubicación del epicentro del sismo de Ica junto a los epicentros correspondientes a los sismos ocurridos en la región central del Perú entre los años 1990 al 2005 ($M > 4.5$), esto a fin de evitar considerar las replicas del sismo de Pisco del 2007 que simplemente distorsionaría nuestra visión de la frecuencia normal de sismos en esta región. De acuerdo a la ubicación del epicentro, el sismo ocurrió en una zona de continua ocurrencia de sismos de magnitud moderada con origen directo en el proceso de convergencia de placas, Nazca y Sudamericana. En profundidad, el foco del sismo de Ica sigue el patrón de sismicidad definido para esta región y en conjunto muestran la geometría de la placa de Nazca dentro del proceso de subducción; es decir, subducción del tipo sub-horizontal, tal como fue descrito por Stauder (1975), Cahill y Isacks (1991), Tavera y Buforn (2001).

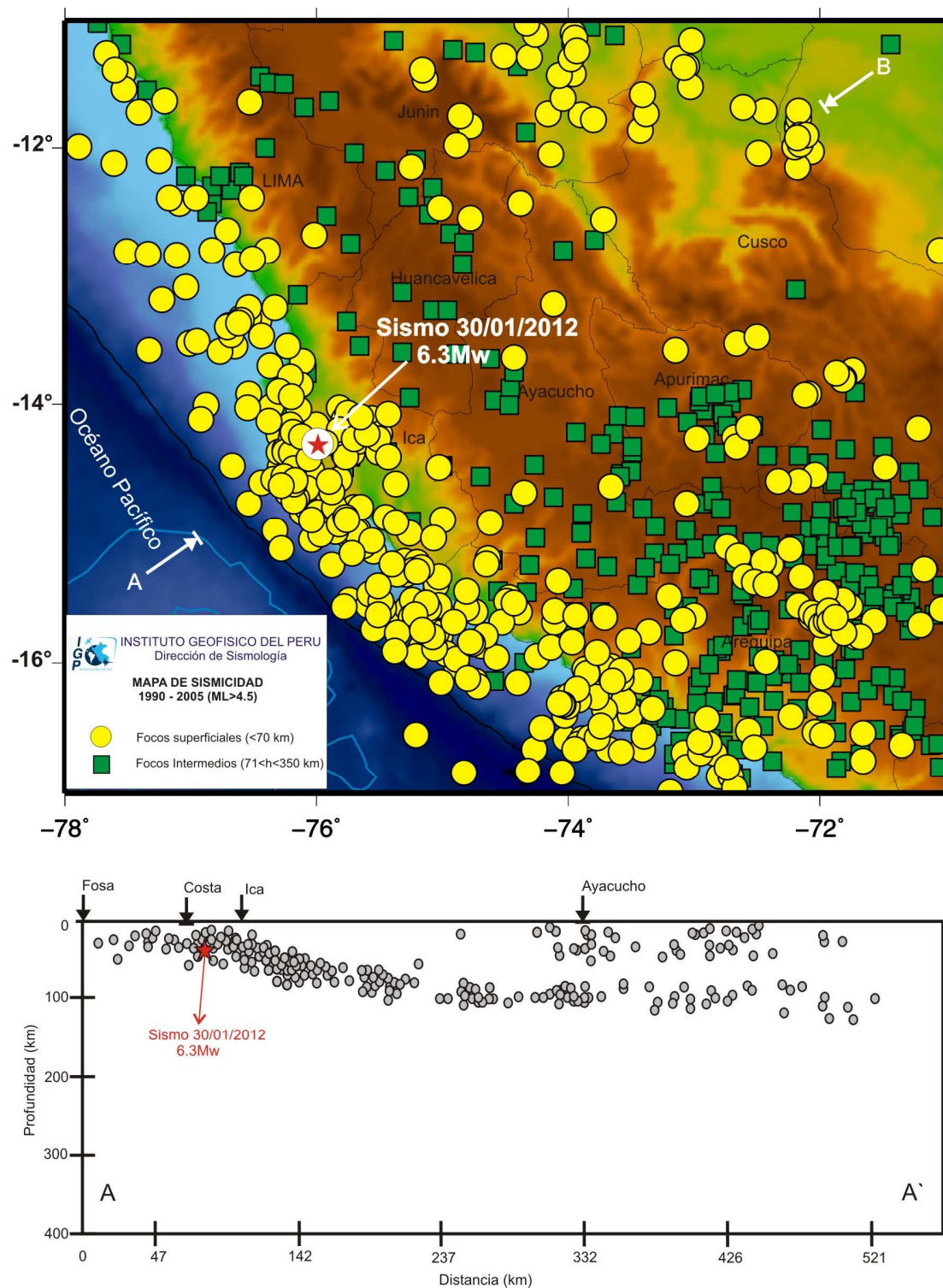


Figura 2.- Distribución espacial de la sismicidad en la región central del Perú. La profundidad de los sismos es indicada con el color de los símbolos. La estrella indica la ubicación del sismo de Ica del 30 de enero de 2012. En la sección vertical se muestra el hipocentro del sismo sobre la tendencia media de la sismicidad para la región central del Perú.

2.2.- Intensidades

Después de producido el sismo de Ica, se procedió a realizar la evaluación de los efectos, daños y radio de percepción del sismo en todo el territorio peruano. Las evaluaciones fueron realizadas por el personal del Servicio Sismológico Nacional de la Dirección de Sismología del IGP mediante encuestas vía línea telefónica a dos o tres personas de cada ciudad y/o localidad mayor y la información obtenida fue interpretada utilizando la escala de Mercalli Modificada (Figura 3). La descripción más resaltante se detalla a continuación:

Ciudad de Ica: Sentido muy fuerte por todos, las personas salieron apresuradas a las calles (pánico total). Daños en viviendas de adobe y quincha en Ica. En el puesto de salud, se atendió gran número de personas con heridas leves. Corte de fluido eléctrico e interrupción de las líneas telefónicas. En esta ciudad la intensidad evaluada fue de VI en la escala de Mercalli Modificada.

Localidades de Pisco y Paracas: sentido muy fuerte y por un tiempo prolongado. Todas las personas salieron a las calles con algunos heridos por la caída de objetos. En estas localidades, la intensidad evaluada fue de VI-V (MM).

El sismo de Ica fue perceptible hasta distancias del orden de 300 km con intensidades del orden de II (MM), tal como ocurrió en las ciudades de Arequipa, Huancavelica, Ayacucho y Lima. Debido a la magnitud moderada del sismo, no se produjo tsunami.

Según informes de INDECI, en la ciudad de Ica y alrededores, el sismo produjo daños en 732 viviendas, 150 heridos, 712 afectadas por pérdidas materiales y 491 damnificados

2.3.- Réplicas

El sismo de Ica fue seguido en las primeras 48 horas, por un total de 25 réplicas y de ellas, solo la réplica ocurrida el 30 de enero a horas 09:20 presentó una magnitud de 4.0ML y fue sensible en la ciudad de Ica con intensidades de II (MM). En la Figura 4 se muestra la distribución espacial de las 25 réplicas del sismo de Ica, las mismas que se distribuyen entorno al epicentro del evento principal siguiendo una orientación NE-SO. En la Figura 5 se puede observar el sismograma de la estación sísmica de Paracas con el registro del sismo principal y las réplicas ocurridas durante las primeras 7 horas después del evento principal. En general, el tamaño de cada señal sugiere la variada magnitud de las réplicas. A diferencia del sismo del 28 de octubre-2011 (6.8 Mw) ocurrido en la misma área, el número de réplicas es mucho menor, así como su respectiva área de ruptura.

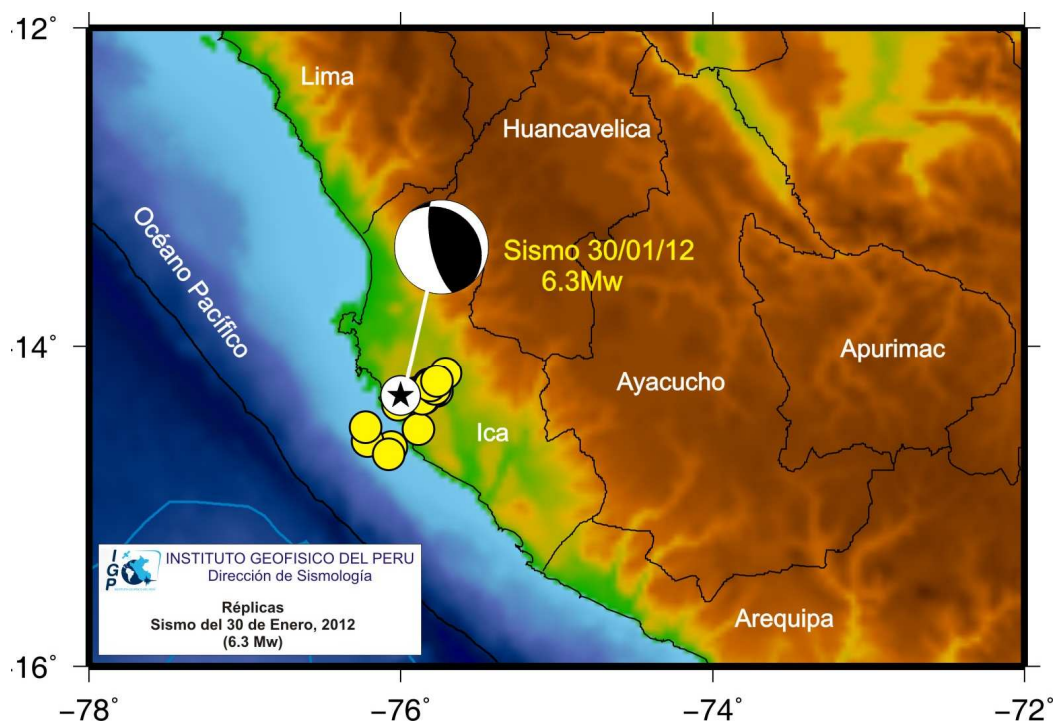


Figura 4.- Distribución de espacial de las réplicas del sismo del 30 de enero, 2012 (6.3Mw). La esfera indica el mecanismo focal de tipo inverso.

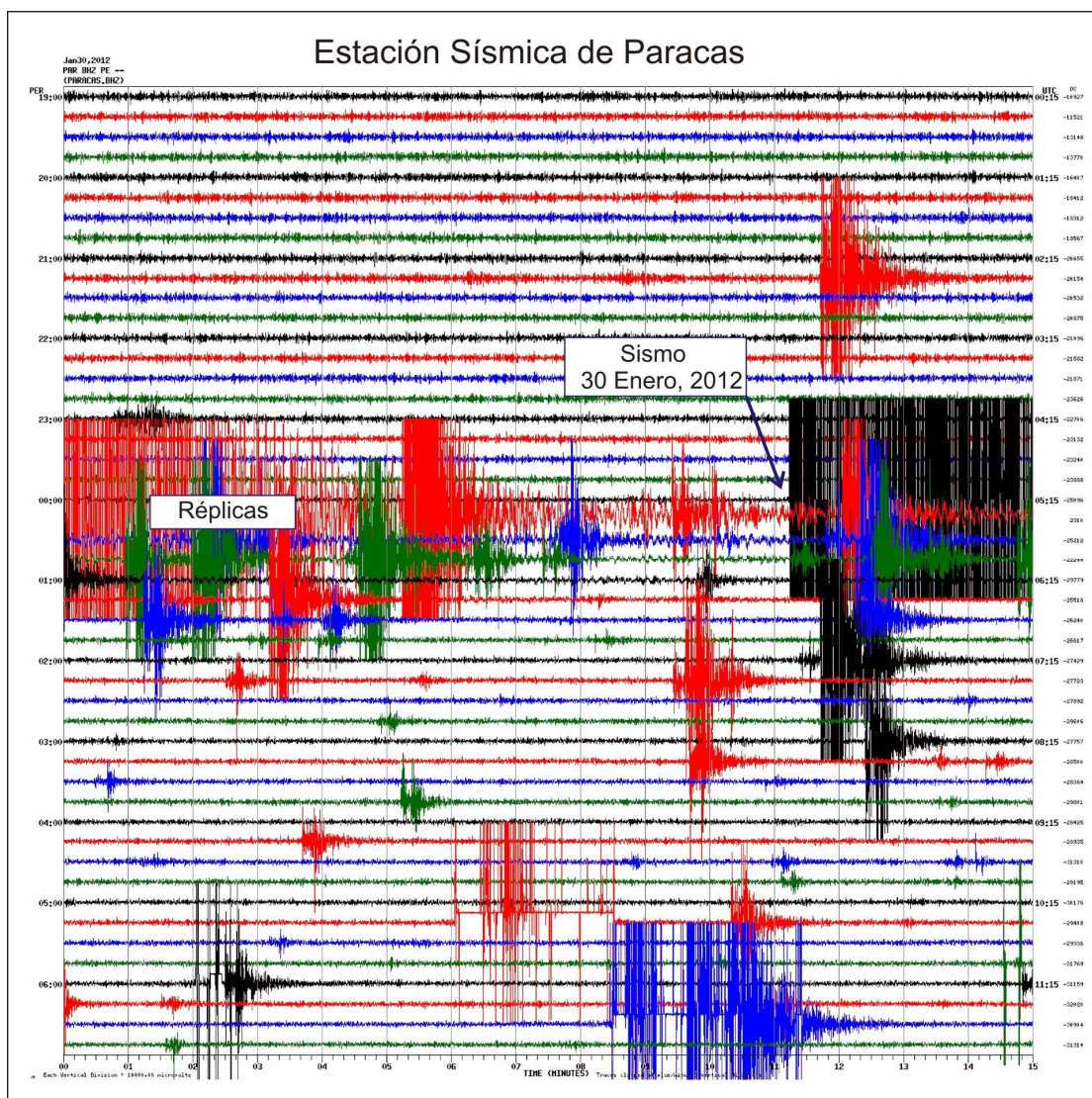


Figura 5.- Sismogramas de la estación sísmica de Paracas (Ica) con las señales correspondientes al sismo principal y réplicas del sismo de Ica correspondiente a las primeras 7 horas después de ocurrido el sismo.

2.4.- Orientación de la Fuente

La orientación preliminar para la fuente del sismo de Ica del 30 de enero fue obtenida haciendo uso de información correspondiente a los primeros impulsos de la onda P registrado en las estaciones de la RSN y REDSSAT a cargo del Instituto Geofísico del Perú y su solución se presenta en la Figura 6. El sismo de Ica presenta un mecanismo focal de tipo inverso con planos orientados en dirección NO-SE y eje de compresión (P) prácticamente horizontal. El mecanismo de la fuente indica el desarrollo de un proceso de ruptura por compresión, coherente con el tipo

de deformación que se produce en la interfase de las placas de Nazca y Sudamericana. Esta solución para el mecanismo de ruptura, es similar a los obtenidos para los sismos de Pisco 2007 (8.0Mw) y Ica 2011 (6.8Mw), lo cual sugiere que en esta región la convergencia y deformación de placas se desarrolla en dirección NE-SO, es decir, aproximadamente perpendicular a la Cordillera Andina.

La solución obtenida en este estudio para el sismo de Ica, es similar a las propuestas por el NEIC (USGS) y el proyecto "Global CMT" a partir del método de inversión tensor momento (Centroid Moment Tensor).

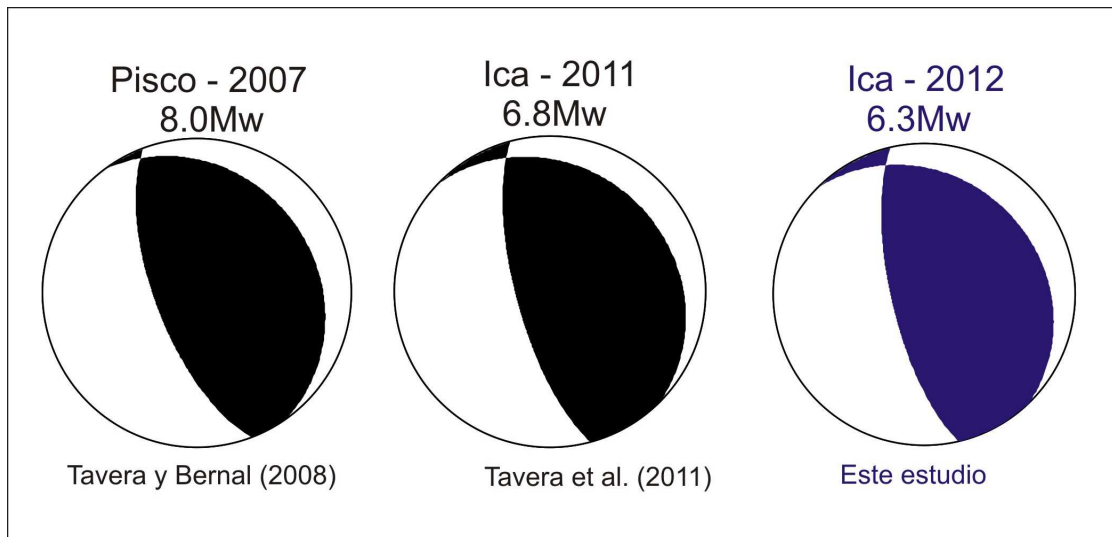


Figura 6- Mecanismo focal obtenido para el sismo de Ica del 30 de enero de 2012. La solución corresponde a un proceso de ruptura de tipo compresional con planos nodales orientados en dirección NNO-SSE. Las otras soluciones corresponden a los sismos de Pisco (2007, 8.0Mw) e Ica (2011, 6.8Mw).

2.5.- Momento Sísmico

Los parámetros de la fuente para el sismo de Ica del 30 de enero de 2012 fueron estimados a partir de las características del espectro de amplitud el desplazamiento del suelo registrado en la estación de Ayacucho (AYA). Según la Figura 7, la parte plana del espectro ha permitido estimar un momento sísmico del orden de $3.6E+25$ dina-cm, equivalente a una magnitud momento de 6.3Mw. Utilizando la relación propuesta Brune (1980) y el valor de la frecuencia esquina (f_c), se obtiene un radio de ruptura de 2 km. El valor del M_0 , es similar al reportado por el USGS y Universidad de Harvard, ambos a partir del Tensor de Momento, CMT.

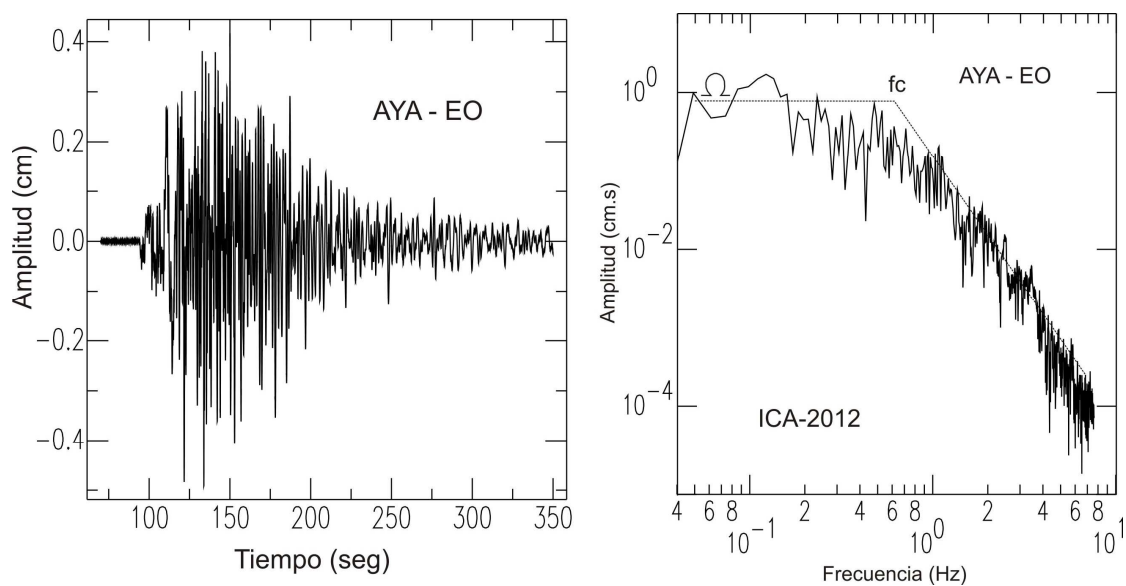


Figura 7- Registro sísmico de la estación Ayacucho (AYA) y espectro correspondiente al sismo de Ica del 30 de enero de 2012. El símbolo omega corresponde a la parte plana del espectro y f_c , la frecuencia esquina. AYA-EO indica la componente de registro este-oeste.

3.- ACELERACIONES MAXIMAS

El estudio del movimiento del terreno, en términos de series de tiempo, considerando su aceleración, velocidad y/o desplazamiento permite describir las características básicas del fenómeno sísmico en el punto de registro. En tal sentido, cada sismo analizado permite disponer de información importante al momento de la toma de decisiones dentro del campo de la ingeniería sísmica. Los registros de aceleración del sismo ocurrido el día 30 de enero del 2012, fueron corregidos por instrumento y línea base, antes de proceder a identificar los picos máximos de aceleración sin la aplicación de ningún tipo de filtro. En la Figura 8, se muestra la ubicación de las dos estaciones cuya información es analizada y corresponde a las de Yauca (Arequipa) y Mayorazgo (Lima), ambas ubicadas cerca de la costa a 214 y 276 km del epicentro del sismo respectivamente. Según la Figura 8, el sismo del 30 de enero del 2012, generó aceleraciones máximas del terreno de 60 cm/seg² en la estación Yauca (YCA) y de 8 cm/seg² en la de Mayorazgo (MAY).

3.1.- Espectros de Amplitud

A fin de disponer de una representación gráfica de la superposición de ondas de variadas frecuencias para los registros de aceleración obtenidos para el sismo del 30 de Enero del 2012, se ha procedido a obtener sus espectros de amplitud. Los espectros de amplitud representan la distribución de amplitudes de aceleración correspondiente a cada frecuencia registrada.

Los espectros de amplitud para las estaciones de YAU y MAY se presentan en la Figura 9. En la estación YCA, el espectro de amplitud muestra un pico de gran amplitud a frecuencias alrededor de 1.8 Hz; mientras que, el espectro de la estación MAY presenta dos picos de amplitud, sobresaliendo el correspondiente a la frecuencia de 36 Hz. Estas altas frecuencias podrían estar asociadas a efectos de suelo, considerando que en Mayorazgo prevalecen suelos conglomerados medianamente compactados.

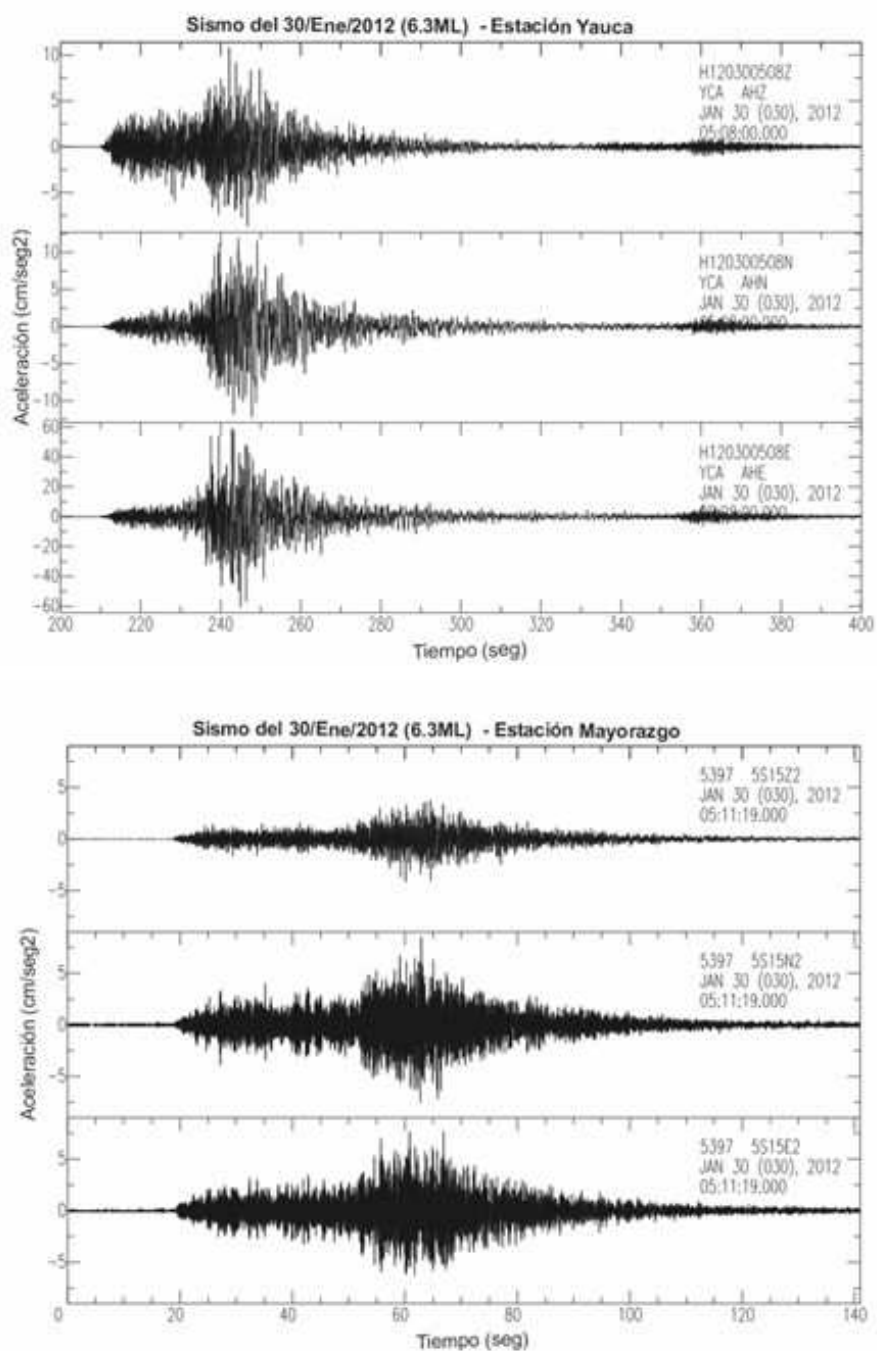


Figura 8- Registros de aceleración de las estaciones YCA y MAY correspondientes al sismo del 30 de enero de 2012. En la parte superior de cada grupo de registros se muestra el correspondiente a la componente vertical y luego las componentes horizontales, NS y EO.

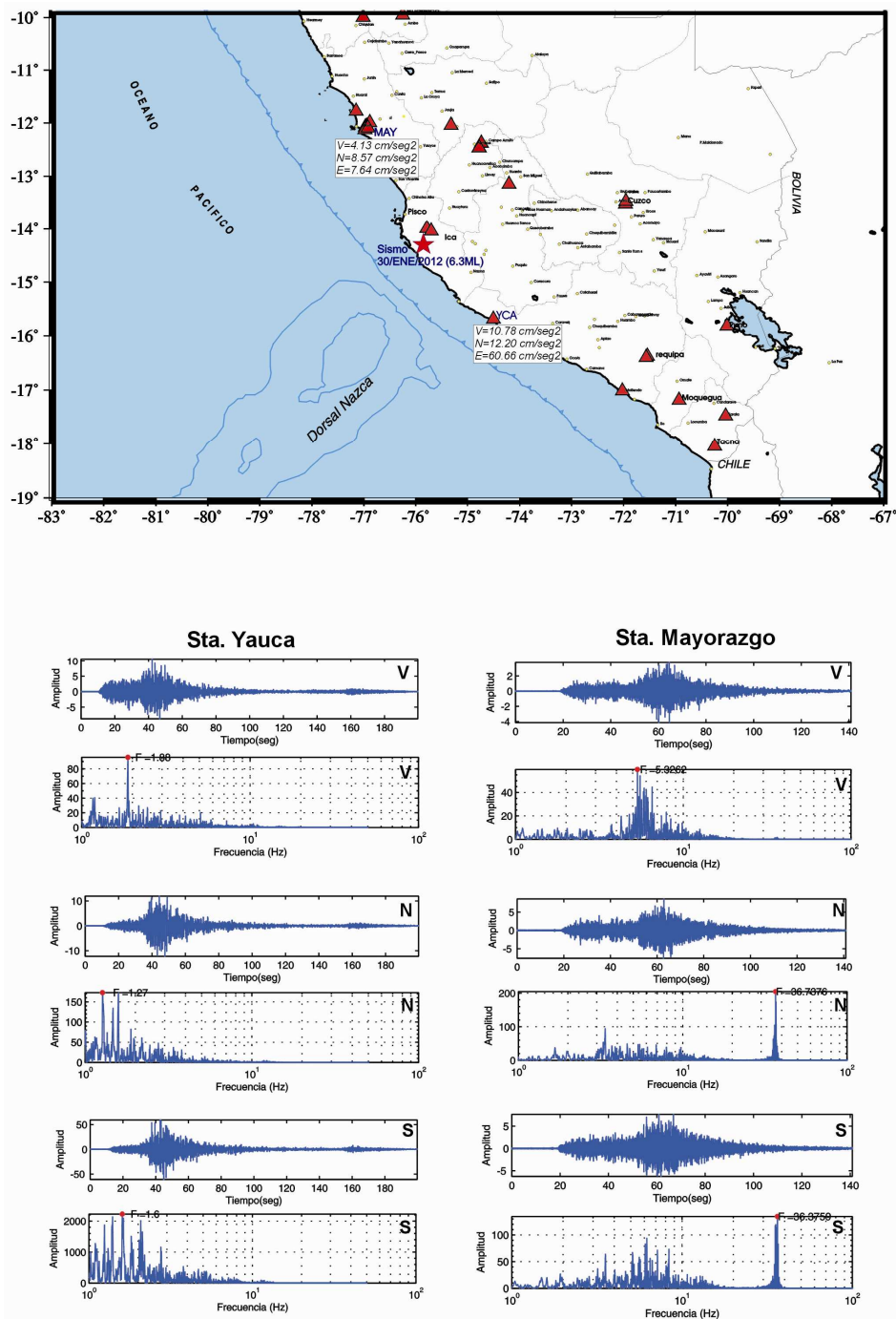


Figura 1. Ubicación de las estaciones acelerométricas de YCA y MAY. En el extremo superior, la estrella indica la ubicación del epicentro del sismo del 30 de Enero del 2012 y los valores numéricos de las aceleraciones máximas registradas en cada estación. En el extremo inferior se muestra los registros del sismo en sus diferentes componentes y con sus respectivos espectros de amplitud.

3.- DISCUSION

El sismo de Ica del 30 de enero de 2012 presentó una magnitud de 6.3 Mw y su epicentro fue localizado a 40 km al SO de la ciudad de Ica (Departamento de Ica). El radio de percepción ($I_{max}=II$ MM) fue de aproximadamente 300 km, siendo la máxima intensidad de VI (MM) evaluada en la ciudad de Ica. Este sismo presento su foco a una profundidad de 49 km y tuvo su origen en el proceso de convergencia y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana.

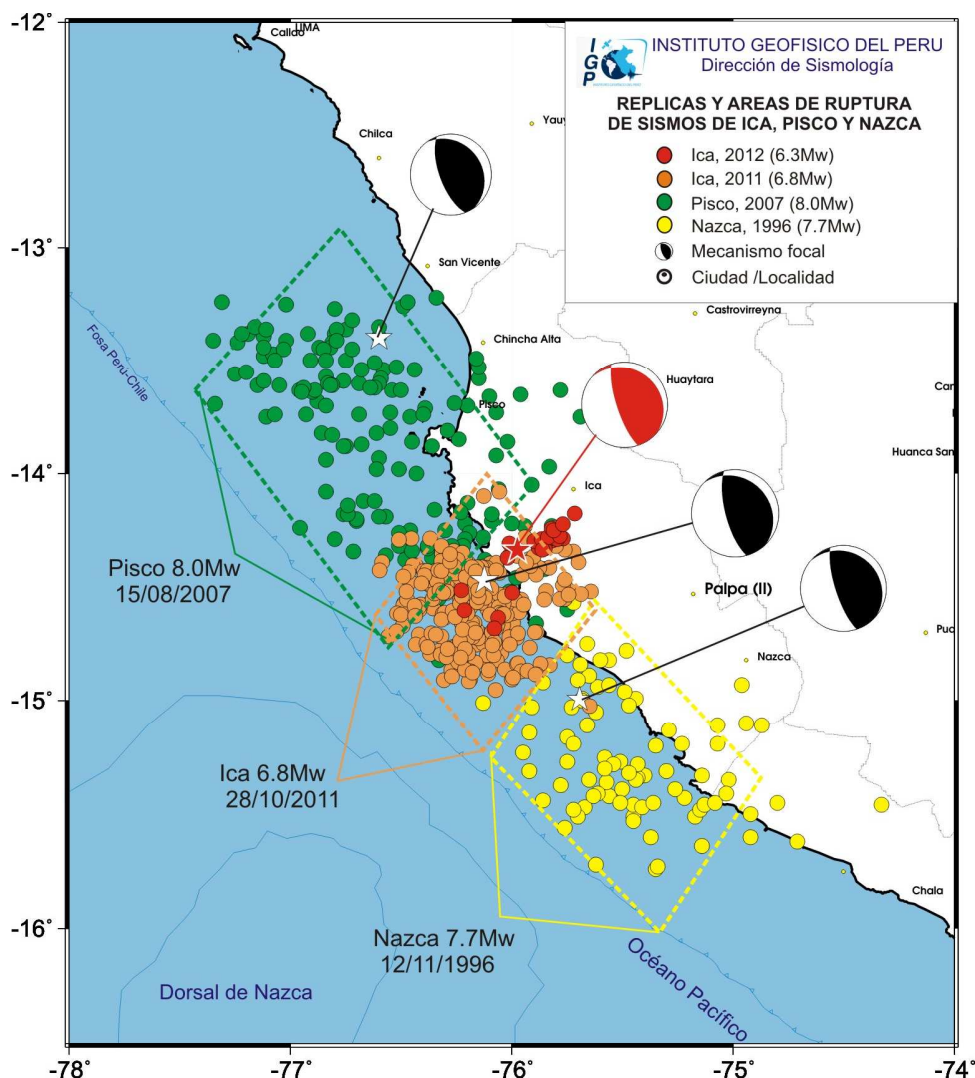


Figura 10- Distribución espacial de réplicas y áreas de ruptura de los sismos de Nazca-1996, Pisco-2007, Ica-2011 e Ica-2012. Los mecanismos focales indican el desarrollo de similares procesos de ruptura.

A fin de analizar los procesos de deformación desarrollados entorno al sismo de Ica, en la Figura 10 se presenta la distribución espacial de las réplicas y áreas de ruptura de los sismos de Nazca-1996 (7.7Mw), Pisco-2007 (8.0Mw), Ica-2011 (6.8Mw) e Ica-2012 (6.3Mw). En esta figura, se observa que los terremotos antes indicados y sus series de réplicas, prácticamente se encuentran distribuidos sobre toda el área comprendida entre la fosa y la línea de costa de todo el departamento de Ica. El epicentro y serie de réplicas del sismo del 30 de enero se encuentran en el extremo oriental del área de réplicas del sismo del 28 de octubre-2011, lo cual sugiere que la energía se habría liberado a mayores niveles de profundidad (49 km), cercano a la ciudad de Ica, lo cual explicaría la alta intensidad evaluada en esta ciudad.

Por otro lado, los mecanismos focales elaborados para todos estos sismos, sugieren similar proceso de ruptura; es decir, deformación por compresión con eje principal orientado en dirección NE-SO aproximadamente sobre un plano de falla orientado en dirección paralela a la línea de costa y con una inclinación en dirección NE con un ángulo de 23-30 grados.

5.- CONCLUSIONES

El sismo de Ica del 30 de enero de 2012 presentó una magnitud de 6.3 Mw y su epicentro fue localizado a 40 km al SO de la ciudad de Ica (Departamento de Ica). El radio de percepción ($I_{max}=II$ MM) fue de aproximadamente 300 km, siendo la máxima intensidad de VI (MM) evaluada en la ciudad de Ica.

Este sismo tuvo su origen en la convergencia y fricción existente entre las placas de Nazca y Sudamericana dentro del proceso de subducción. Su epicentro y serie de réplicas se ubican entre las áreas de ruptura de los sismos de Nazca-1996, Pisco-2007 e Ica 2011 y en mayor número en el extremo oriental de este último.

En la zona sur de la región central del Perú, la ocurrencia temporal de los sismos de Nazca-1996 (7.7Mw), Pisco-2007 (8.0Mw), Ica-2011-2012 (6.8 y 6.3Mw), sugieren que en ella se ha liberado toda la energía acumulada, lo cual indica que se encuentra libre de esfuerzos.

BIBLIOGRAFIA

- Bernal, I. y Tavera, H (2002). Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú. Monografía, IGP, Lima-Perú, 63 pp.
- 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.
- Fukao, Y. (1972). Source process of a large deep-focus earthquake and its tectonic implications – The western Brazil earthquake of 1963. *PEPI*, 5, 61-76.
- Furumoto, M. (1977) Spatio-temporal history of the deep Colombia earthquake of 1970. *PEPI*, 15, 1-12.
- Moncca, G. (2010). Calculo del momento sísmico mediante la función temporal de la fuente sísmica y su aplicación a sismos profundos de Perú. Tesis Ingeniero, U.N. San Agustín de Arequipa, 120 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.
- Schneider, et al. (1988). Spatial distribution and B value of intermediate depth earthquake beneath Central Peru, *Geophys. Res. Lett.* 15, 1421-1424
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. *Journal of Seismology*, 5, 519-540.

Instituto Geofísico del Perú

Dirección de Sismología

Calle Badajos 169 – Urb. Mayorazgo IV Etapa - Ate

Teléfono 3172300-140 Fax 3172309-141

Web: <http://www.igp.gob.pe>