



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
de Sismología



Sismo de Yauca-Acarí del 25 de Septiembre del 2013
(7.0 Mw) - Arequipa

ASPECTOS SISMOLÓGICOS

Por:

Hernando Tavera
Efrain Fernandez, Patricia Guardia, Juan Carlos Villegas
Mohamed Chlieh, Sheila Yauri, Luz Arredondo
Cristhian Flores, Julio Martinez

Informe Técnico N° 03-2013

Lima-Perú
Septiembre, 2013

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- SISMO DE YAUCA-ACARI DEL 25 DE SEPTIEMBRE DEL 2013

2.1- PARÁMETROS HIPOCENTRALES

2.2.- INTENSIDADES

2.3.- RÉPLICAS

2.4.- ORIENTACIÓN DE LA FUENTE Y ANÁLISIS DE FORMAS DE ONDA

2.5.- MOMENTO SÍSMICO Y RADIO DE RUPTURA

2.6.- MODELO TEÓRICO DE DEFORMACIÓN

3.- TSUNAMI

4.- ACELERACIONES MÁXIMAS

5.- DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCION

El Perú es parte del llamado 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. Del mismo modo, este proceso ha dado origen a un gran número 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 interior del continente.

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 percibidos por la población 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 ($M_w=8.0$).

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 . Los sismos de foco intermedio son pocas veces percibidos por la población en superficie, pero cuando alcanzan magnitudes ≥ 7.0 M_w tienen gran radio de percepción, llegando algunas veces a producir daños leves en viviendas; además, de 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).

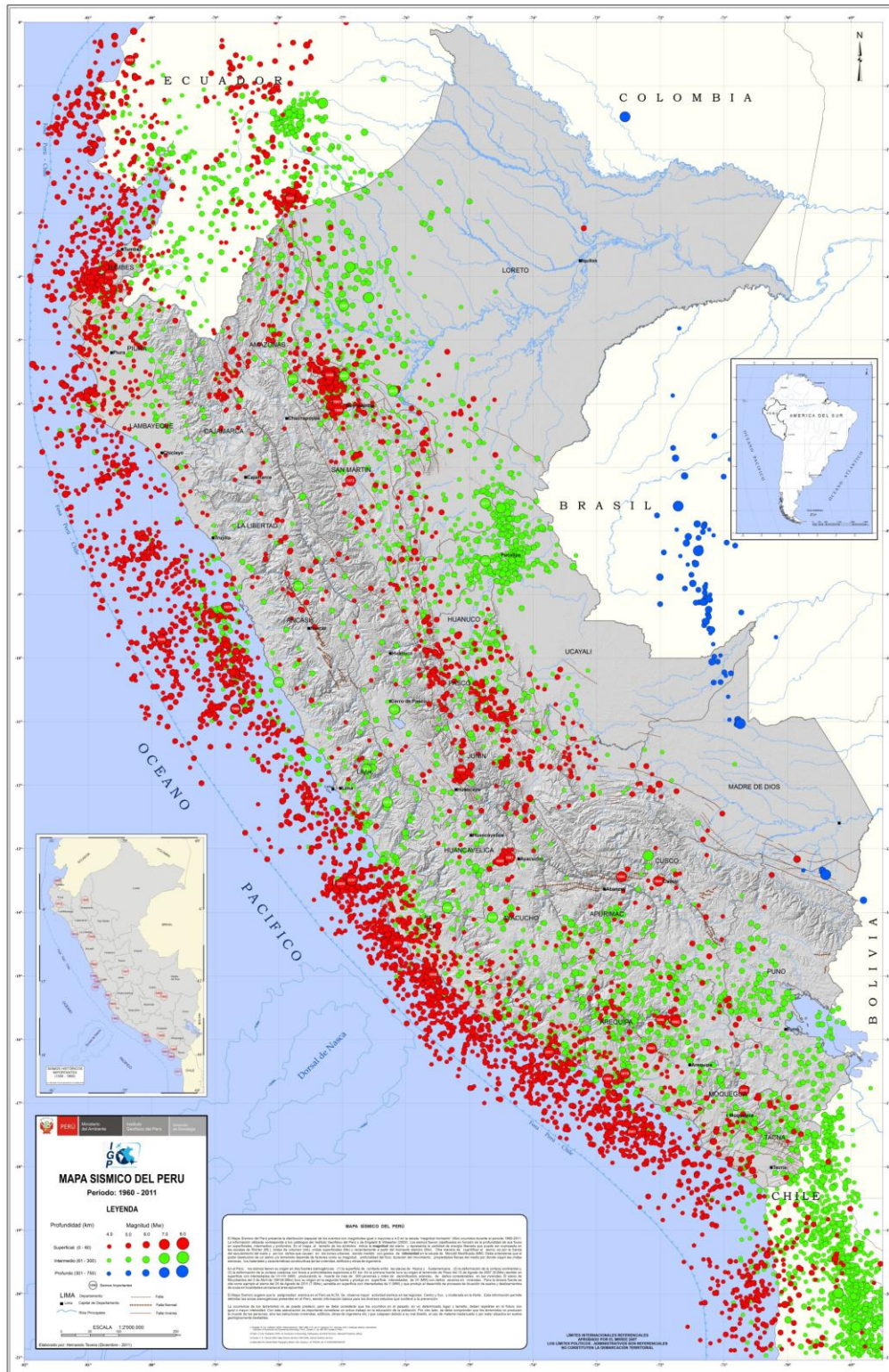


Figura 1.- Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1960 y 2011. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos. Los círculos con número inscrito en su interior indican la ubicación y año de ocurrencia de los grandes sismos.

Estudios recientes realizados sobre la historia sísmica de Perú (Dorbath et al, 1990; Tavera, 2005) y sobre la presencia, en su borde occidental, de áreas de importante acumulación de energía (Chlieh et al, 2011), muestran que el territorio peruano puede ser afectado en el futuro por sismos de gran magnitud. Por ejemplo, es conocida la existencia de las llamadas “lagunas sísmicas” en el borde occidental de la región central debido a que no ocurre un sismo importante desde el año 1746, otra en la región sur que no es afectada aún por un sismo similar al ocurrido en el año 1868, ambos habrían presentado magnitudes de ~8.5Mw. Del mismo modo, áreas de menor tamaño han sido identificadas frente a la localidad de Yauca, que en el año 1913 dio origen a un sismo de magnitud del orden de 7.7 Ms (Silgado, 1978). Este sismo, produjo daños de consideración en Caraveli, Chuquibamba y Caylloma en donde se desplomaron gran cantidad de viviendas y la iglesia mayor en Chuquibamba. En Arequipa hubo averías en edificios públicos. Según Umlauf (1913) el área afecta es de 30,000 km² encerrada por una isosista de grado X (MM); mientras que la isosista de grado VII (MM) limita un área de 58,000 km². Según información de los observatorios de Lima y La Paz, el área epicentral estaría entre las localidades de Chala y Atico (Silgado, 1978). Después de este terremoto, se produjo un tsunami que inundó la zona costera entre las localidades de Lomas y Chala, escenario que obligó a la población de la localidad de Yauca trasladarse y establecerse a mayor altura; es decir, en su actual ubicación.

En la zona centro-sur del Perú, el día 25 de Septiembre del 2013, ocurrió un sismo de magnitud moderada (6.9ML, 7.0 Mw) y epicentro ubicado a 66 km al SO de la localidad de Yauca, 75 km al OSO de la localidad de Chala y 86 km, al SSO de la localidad de Acarí (Provincia de Caravelí, Departamento de Arequipa). El sismo ocurrió a una profundidad de 31 km (foco superficial) y en general, presentó un área de percepción con radio del orden de 350 km ($I_{max}=II$), siendo la mayor intensidad del orden de VI (MM) evaluada en las localidades de Yauca, Acarí y Chala. Este informe presenta los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas, réplicas, orientación de la fuente y su respectiva interpretación sismotectónica.

2.- SISMO DE YAUCA-ACARI DEL 25 DE SEPTIEMBRE DE 2013

2.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 25 de septiembre del 2013 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:	16h 42 min del día 25 de Septiembre, 2013 (Hora Universal) 11h 42 min del día 25 de Septiembre, 2013 (Hora Local)
Latitud Sur:	-16.153°
Longitud Oeste:	-74.866°
Profundidad:	31 km
Magnitud:	6.9 ML, 7.0 Mw
Epicentro:	A 66 km al SO de la localidad de Yauca A 75 km al OSO de la localidad de Chala A 86 km al SSO de la localidad de Acarí
Intensidad Máxima:	VI (MM) en las localidades de Yauca, Chala, Atiquipa y Acarí
Momento Sísmico:	4.9 E+26 dina-cm (análisis espectral)
Magnitud Momento:	7.0 Mw

En la Figura 2 se presenta la ubicación del epicentro del sismo de Yauca-Acarí junto a los epicentros correspondientes a los sismos ocurridos en la región centro-sur del Perú entre los años 2008 al 2013 ($M > 4.0$), esto a fin de evitar considerar las réplicas 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 del sismo de Yauca-Acarí, este se encuentra en una zona de continua ocurrencia de sismos de foco superficial y magnitud moderada con origen directo en el proceso de convergencia de placas, Nazca y Sudamericana. En profundidad, el foco del sismo de Yauca-Acarí sigue el patrón de sismicidad definido para esta región (centro-sur) 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).

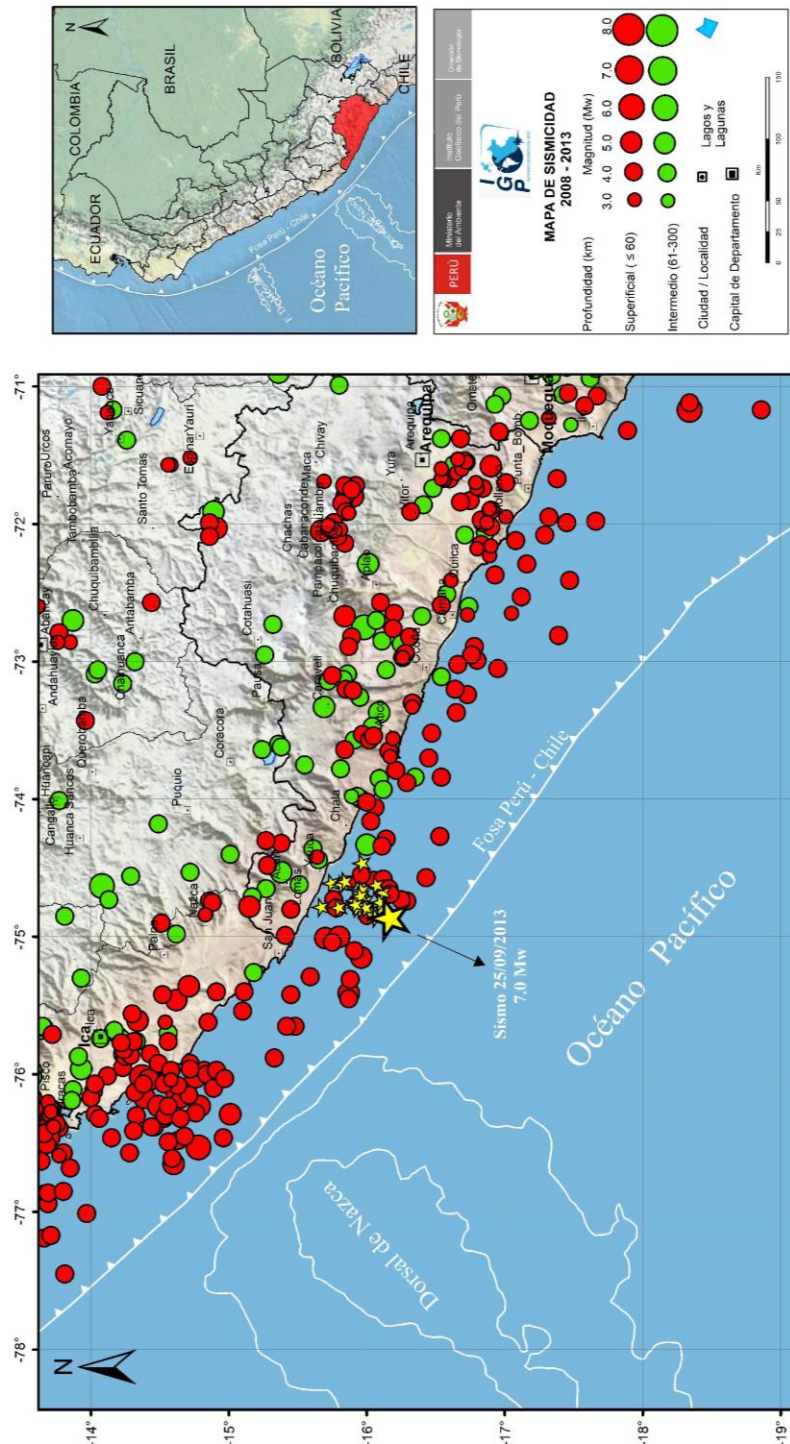


Figura 2.- Distribución espacial de la sismicidad en la región centro-sur del Perú. La profundidad de los sismos es indicado por el color de los símbolos. La estrella grande indica la ubicación del sismo de Yauca-Acarí del 25 de septiembre de 2013 y las pequeñas, sus réplicas.

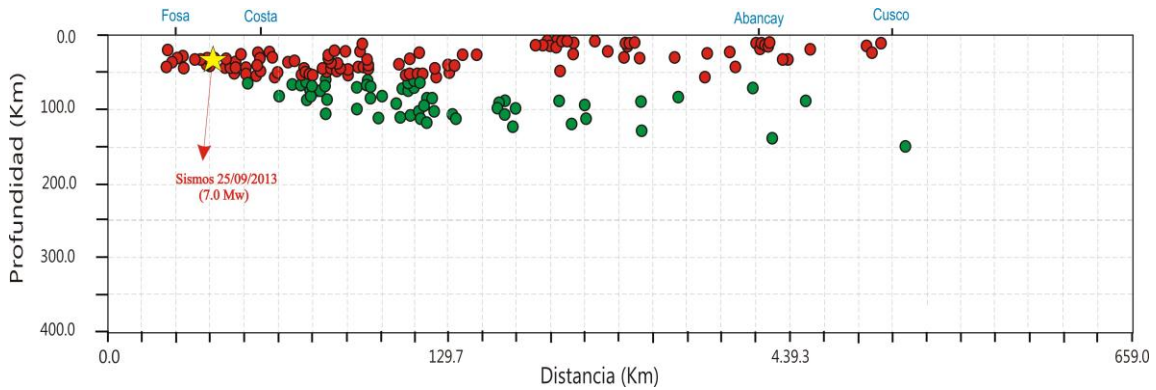


Figura 2.- Continuación...// Sección vertical de sismicidad en dirección SO-NE (perpendicular a la línea de fosa) para la región centro-sur en la cual se muestra la ubicación del hipocentro del sismo de Yauca-Acarí sobre la tendencia media de la sismicidad.

2.2.- Intensidades

Después de producido el sismo de Yauca-Acarí, 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:

Localidades de Yauca, Acarí, Atiquipa y Chala (Provincia de Caraveli, Arequipa): Percibido muy fuerte por todas las personas, llegando a salir apresuradas a las calles (pánico total). Daños en viviendas de adobe y quincha. En Yauca colapsaron 10 viviendas de adobe y otras 180 afectadas con fisuras en los muros. El colegio de material noble sufrió separación de vigas, fisuras en muros y rotura de ventanas. El canal de regadío y el reservorio quedaron en mal estado. En Acarí, varias viviendas de material noble sufrieron rajaduras en sus muros y rotura de vidrios. Uno de los colegios sufrió fisuras en muros y colapso de tres ambientes de adobe. En Chala, muchas viviendas de material noble presentan fisuras en sus paredes, además de ruptura de vidrios en ventanas. Asimismo, se produjeron varios deslizamientos en carreteras. En estas localidades, la intensidad evaluada fue de VI (MM).

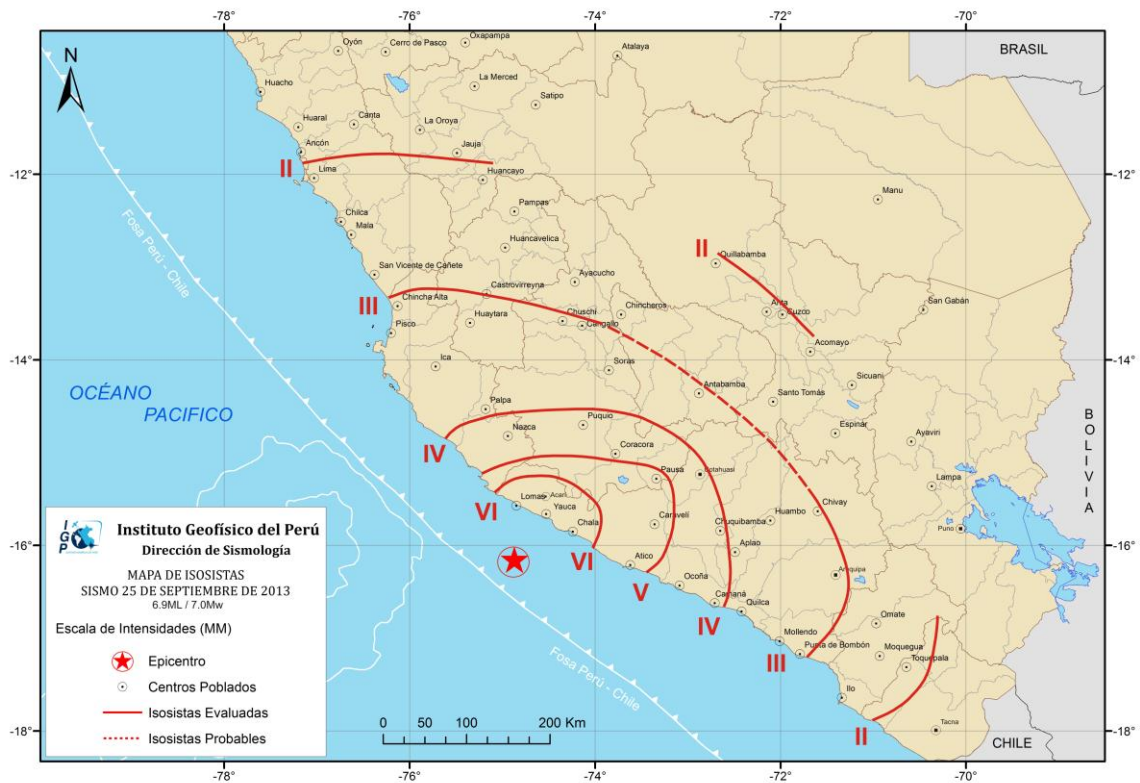


Figura 3.- Mapa preliminar de intensidades en la escala Mercalli Modificada para el sismo de Yauca-Acarí del 25 de septiembre de 2013. La estrella indica la ubicación del epicentro del sismo.

Localidades de Paucar del Sara Sara y Palca (Ayacucho), Caraveli y Cotahuasi (Arequipa): Percibido muy fuerte por la población durante un tiempo prolongado. Todas las personas salieron a las calles. Se produjeron importantes deslizamientos sobre las carreteras. En todas estas localidades las viviendas de adobe presentaron rajaduras en sus paredes y solo algunas de ellas colapsaron. En Caraveli, algunas viviendas de material noble presentaron rajaduras. En Pausa, uno de los colegios construido con adobe sufrió el colapso de paredes y techos. En estas localidades, la intensidad evaluada fue de V (MM).

El sismo de Yauca-Acarí fue perceptible hasta distancias del orden de 350 km con intensidades del orden de II (MM), tal como ocurrió en las ciudades de Cusco, Tacna y Lima.

Según informes preliminares de INDECI, en la provincia de Caraveli 385 viviendas fueron afectadas (Figura 4) y 58 colegios dañados, de ellos 15 de consideración.



Figura 4.- Imágenes de daños observados en Yauca, Chala y Acarí debidos al sismo del 25 de septiembre, 2013.

2.3.- Réplicas

Según la Figura 2, el sismo de Yauca-Acarí fue seguido, en las primeras 72 horas, por un total de 20 réplicas distribuidas espacialmente entorno al epicentro del evento principal siguiendo una orientación aproximada de NE-SO. De estas réplicas, la ocurrida el 25 de septiembre a horas 17h 42min (Hora Local) presentó una magnitud de 4.4ML y fue percibido por la población de la localidad de Yauca con intensidades de II (MM). En la Figura 5 se puede observar el sismograma de la estación sísmica de Yauca con el registro del sismo principal y las réplicas ocurridas durante las primeras 12 horas después del evento principal. En general, el tamaño de cada señal sugiere la variada magnitud de las réplicas. A diferencia de los sismos de Nazca de 1996 (7.7Mw), Pisco 2007 (8.0 Mw) e Ica 2011 (6.8Mw) con origen en el mismo proceso de subducción (Tavera et al, 1999; 2008; 2011), el número de réplicas es mucho menor, así como su respectiva área de ruptura

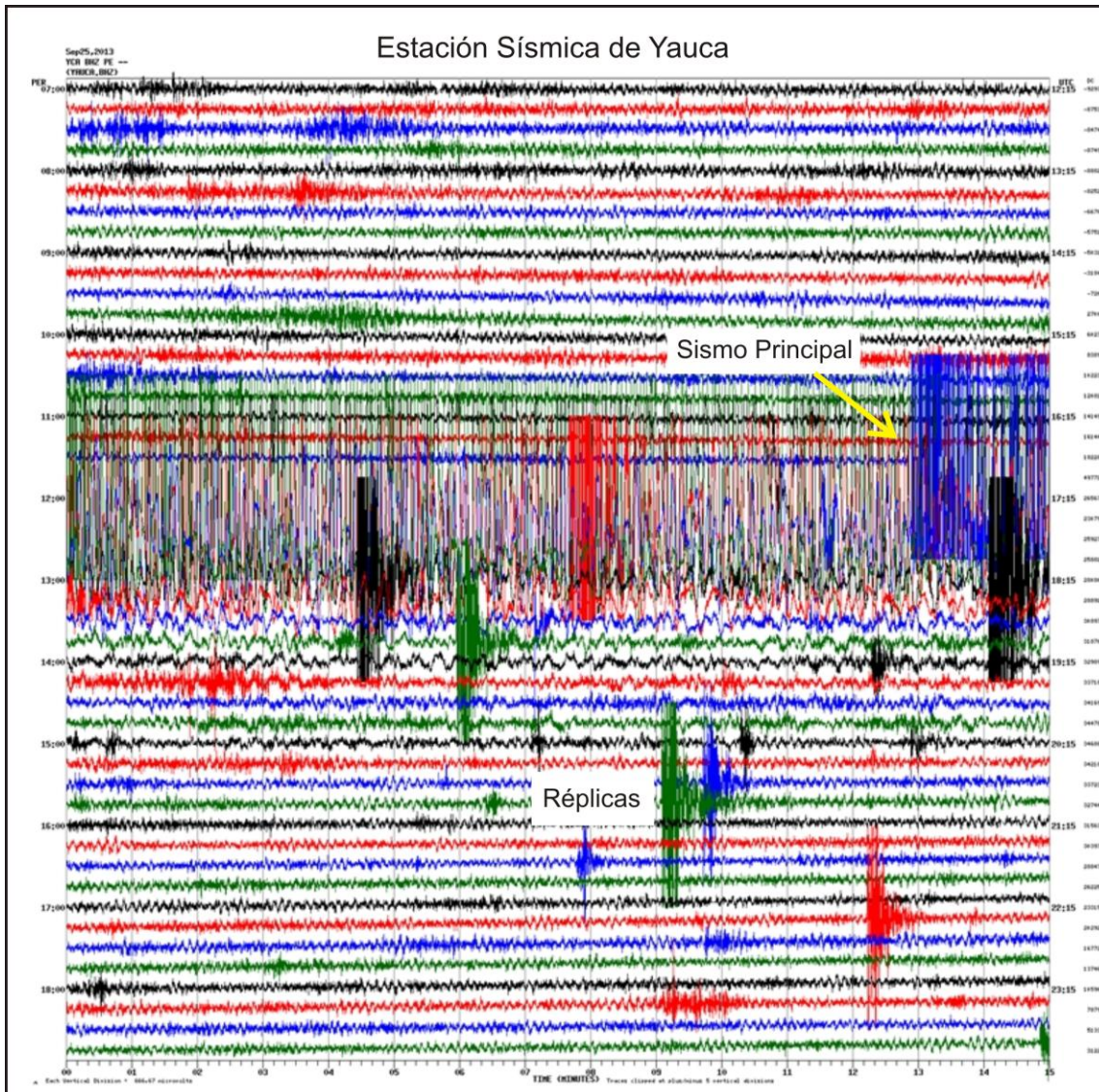


Figura 5.- Sismogramas de la estación sísmica de Yauca con las señales correspondientes al sismo del 25 de septiembre del 2013 y réplicas ocurridas durante las primeras 12 horas.

2.4.- Orientación de la Fuente

La orientación preliminar para la fuente del sismo de Yauca-Acarí fue obtenida haciendo uso de información correspondiente a los primeros impulsos de la onda P registrados en las estaciones de la RSN y REDSSAT a cargo del Instituto Geofísico del Perú. Según la solución obtenida (Figura 6), el sismo de Yauca-Acarí presenta un mecanismo focal de tipo inverso con planos orientados en dirección NO-SE y eje de compresión (P) próximo a la 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. La solución para el mecanismo focal, en comparación con los obtenidos para los sismos de Pisco 2007 (8.0Mw) e Ica 2011 (6.8Mw), presenta su planos nodales con orientación NO-SE siguiendo la tendencia de la línea de costa y Cordillera Andina. Esta solución es similar a las propuestas por el NEIC (USGS) a partir del método de inversión tensor momento.

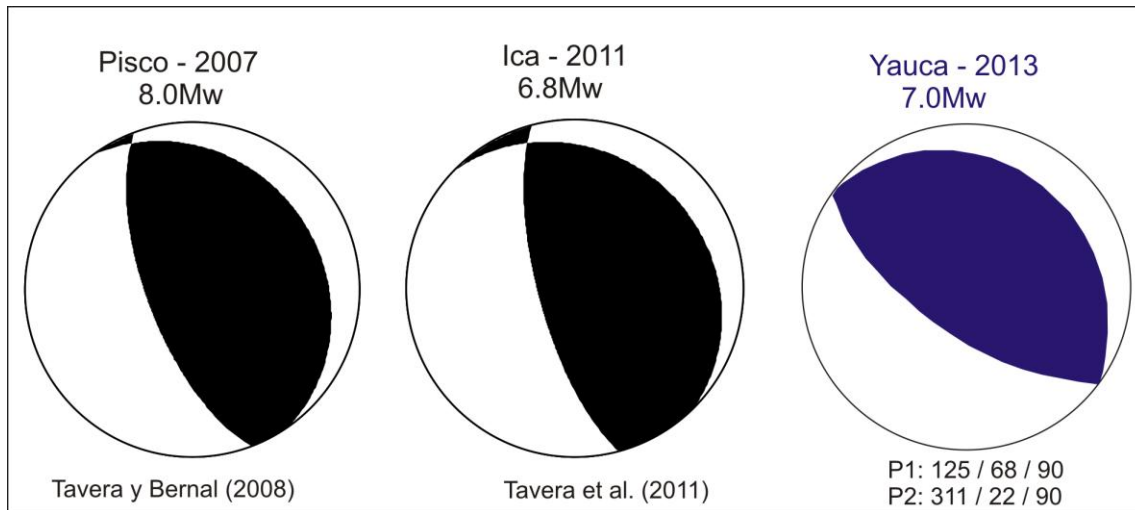


Figura 6- Mecanismo focal obtenido para el sismo de Yauca del 25 de septiembre del 2013. La solución corresponde a un proceso de ruptura de tipo compresional con planos nodales orientados en dirección NO-SE. Las otras soluciones corresponden a los sismos de Pisco (2007, 8.0Mw) e Ica (2011, 6.8Mw) con orientación NNO-SSE. En paréntesis se indica azimut, buzamiento y ángulo de deslizamiento.

2.5.- Momento Sísmico y Análisis de Formas de Onda

Los parámetros de la fuente para el sismo de Yauca-Acarí fueron estimados a partir de las características del espectro de amplitud del desplazamiento del suelo registrado en la componente norte-sur de la estación de Huancayo (HUA) ubicada a 460 km del epicentro. Según la Figura 7, la parte plana del espectro ha permitido estimar un momento sísmico del orden de $4.9E+26$ dina-cm, equivalente a una magnitud momento de 7.0 Mw; siendo similar al reportado por el USGS a partir del método de inversión del tensor momento.

Por otro lado, en la Figura 8 se muestra los registros del grupo de la onda P para el sismo de Yauca-Acarí registrado en las estaciones de SJG (Puerto Rico) y ANMO (EEUU), ambas ubicadas a distancias epicentro-estación de 34° y 59° . Estos registros corresponden al

desplazamiento del suelo y son utilizados para analizar el proceso de ruptura del sismo de Yauca-Acarí. En ambos registros se observa que todo el proceso de ruptura tuvo una duración aproximada de 8 segundos, tiempo durante el cual se produjo la ocurrencia de dos frentes de ruptura, siendo el primero de menor amplitud o liberación de energía con una duración de 3 segundos; mientras que, el segundo de mayor amplitud o liberación de energía tuvo una duración de 5 segundos. Del mismo modo, según la solución propuesta por GEOAZUR a partir de la inversión de ondas a distancias tele sísmicas, el proceso de ruptura se habría desarrollado con dos frentes de ruptura durante un periodo de tiempo de 14 segundos. Para esta solución, GEOAZUR considera como parámetros de entrada los reportados por la agencia internacional USGS, la misma que ubica al epicentro del sismo próximo a la línea de costa y a una profundidad 45 km (Figura 8). Estos procesos complejos de ruptura son muy frecuentes en sismos de magnitud moderada a mayor con origen en el proceso de convergencia de placas como el que se produce en el borde occidental del Perú.

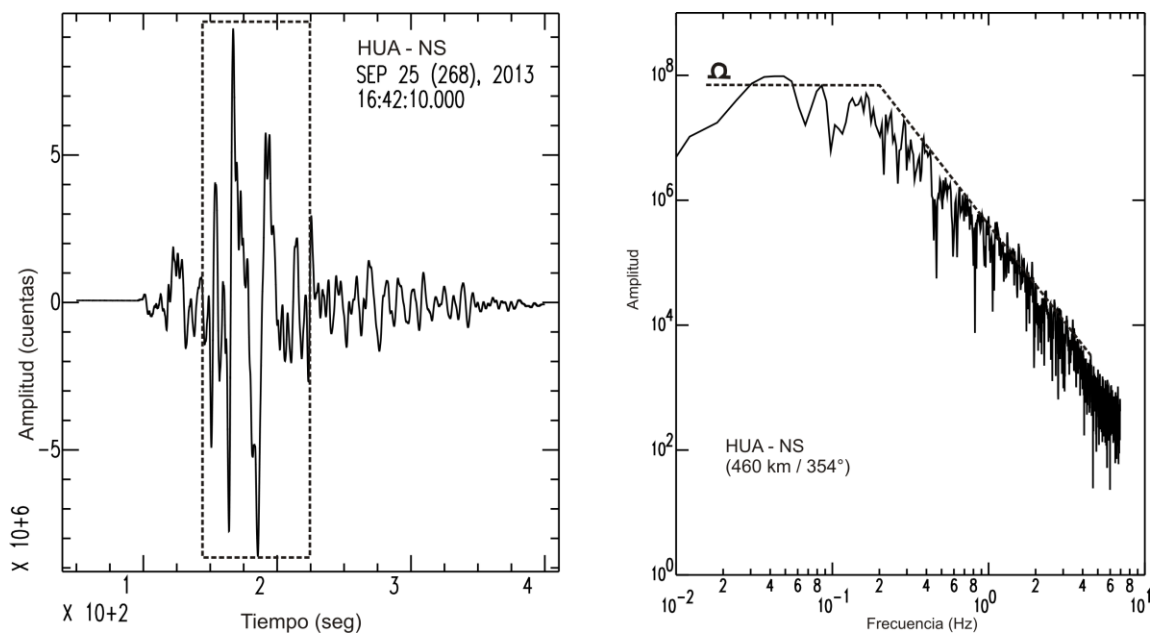


Figura 7- Registro sísmico de la estación de Huancayo (HUA) y espectro correspondiente al sismo de Yauca. El símbolo omega corresponde a la parte plana del espectro y HUA-NS indica la componente de registro en la dirección norte-sur. El tramo de señal indicada con el recuadro fue utilizado para el cálculo del espectro de ondas S.

La dimensión del radio de fractura puede ser determinado a partir de la duración de la ruptura considerando la relación $r = T.V_r$, donde V_r representa la velocidad de la ruptura ($V_r=0.75V_s$, siendo V_s la velocidad de la onda S en el foco). Utilizando la velocidad de $V_s=4.0$ km/seg para un foco localizado a 31 km de profundidad y $T=8.4 - 14$ seg, se estima un radio de fractura del orden de 25-42 km.

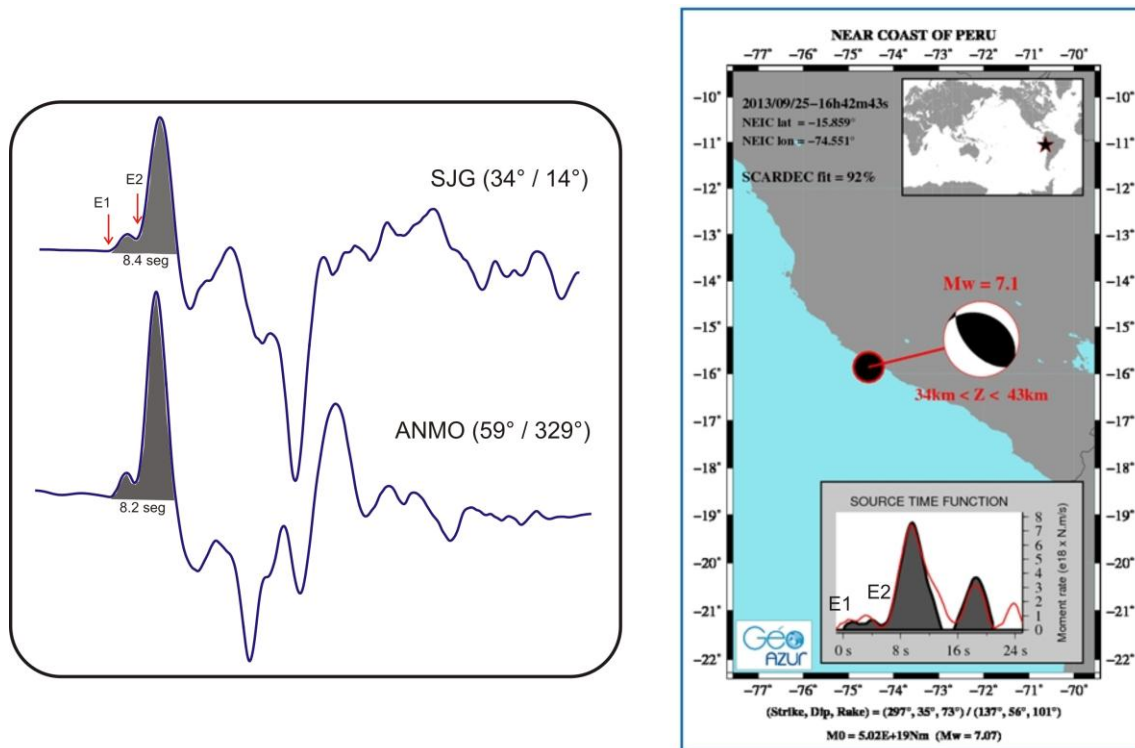


Figura 8- Registros sísmicos en desplazamiento para el grupo de la onda P obtenidos para las estaciones de SJG y ANMO. En ambos registros las amplitudes están en su formato original. Los valores en paréntesis indican la distancia epicentral y azimut en grados. E1 y E2 indican los frentes de ruptura. El área sombreada corresponde al proceso de ruptura del sismo de Yauca-Acarí. La solución de GEOAZUR corresponde al método de inversión de formas de onda a distancias tele-sísmicas.

2.6.- MODELO TEÓRICO DE DEFORMACIÓN

A fin de conocer el posible patrón de deformación vertical en la zona epicentral debido a la ocurrencia del sismo de Yauca-Acarí, se ha procedido a aplicar un método directo considerando un área de ruptura de 60x40 km y la orientación de la fuente obtenida en este estudio. Del mismo modo, se ha considerado un vector de deslizamiento uniforme sobre el plano de falla de 70 cm. Los resultados teóricos para la deformación de suelo se muestran en la Figura 9 y en ella se observa que la deformación vertical (representada por los colores de fondo) habría alcanzado valores de 30 cm cerca del área epicentral; mientras que, la deformación horizontal,

representada por los números en blanco, habría presentado valores de 9 cm en los alrededores de la estación geodésica de TANC, la más cercana a la zona epicentral. En los próximos días se dispondrá de valores de deformación medidos en campo y con los cuales se evaluará los índices reales de deformación asociados al sismo de Yauca-Acarí.

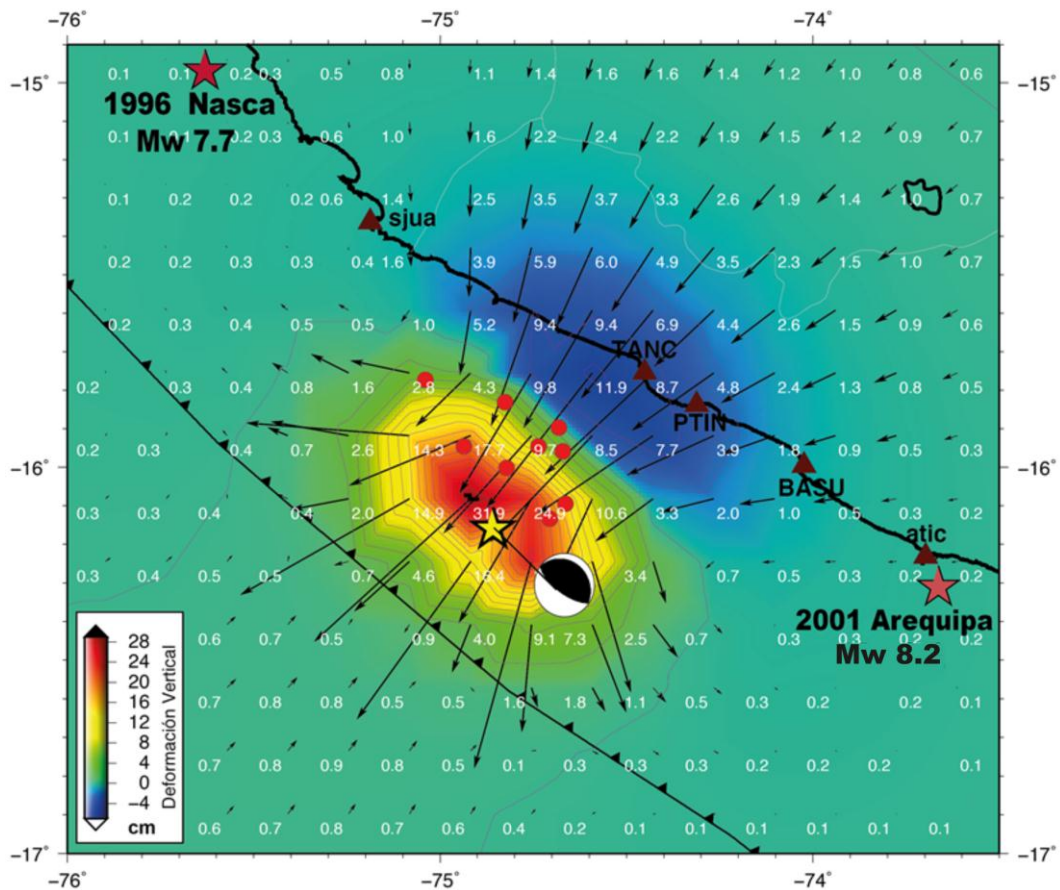


Figura 9. Modelo teórico de ruptura para el sismo de Yauca-Acarí del 25 de Septiembre de 2013. Los triángulos representan la ubicación de los puntos geodésicos, la estrella el epicentro y los puntos rojos, algunas de las réplicas.

3.- TSUNAMI

De los 152 sismos registrados y reportados por el IGP como percibidos por la población, desde enero del 2013 hasta la fecha, únicamente el sismo de Yauca-Acarí alcanzó los umbrales establecidos para ser identificado como sismo tsunamigénico, tal como se parecía en la Figura 10. Es por este motivo que se procedió a realizar el modelado numérico considerando los parámetros de la fuente obtenidos en este estudio y que permitieron estimar para el fondo oceánico una deformación del orden de +35 cm de levantamiento vertical y de -12 cm de subsidencia, ambos considerando un vector de deslizamiento uniforme sobre el plano de falla de 70 cm (Figura 10a). Tomando en cuenta estos parámetros como condición inicial para la generación del tsunami, se realizó el modelamiento numérico obteniéndose la serie temporal del mismo para cuatro puntos de la costa mostrados en la Figura 10b. Asimismo, en la Figura 10b se muestra en color rojo, el registro mareográfico del tsunami en la estación de San Juan (Marcona, Ica) en comparación con el obtenido a partir de la modelización (DHN, 2013), observándose entre ellos buena correlación, especialmente en amplitud y tiempo. De acuerdo a estos resultados, la máxima amplitud de la ola del tsunami habría sido del orden de 10 a 30 cm entre las localidades de San Juan y Chala. Asimismo, en el registro teórico de la estación de Chala se observa una variación negativa en su señal del orden de 10 cm de amplitud, la cual estaría asociado a un posible retroceso del mar en dicha zona. En la Figura 10c, se muestra la propagación de la ola de tsunami en el Océano Pacífico, observándose que a los 10 minutos después de producirse el tsunami, este alcanza alturas de ola del orden de 10 cm en altamar.

El sismo de Yauca-Acarí generó un “tsunami centimétrico” debido principalmente al tamaño del mismo, lo cual pone en evidencia que el umbral de magnitud y la profundidad del foco sísmico, son parámetros importantes a considerar al momento de dar alertas de generación de tsunamis.

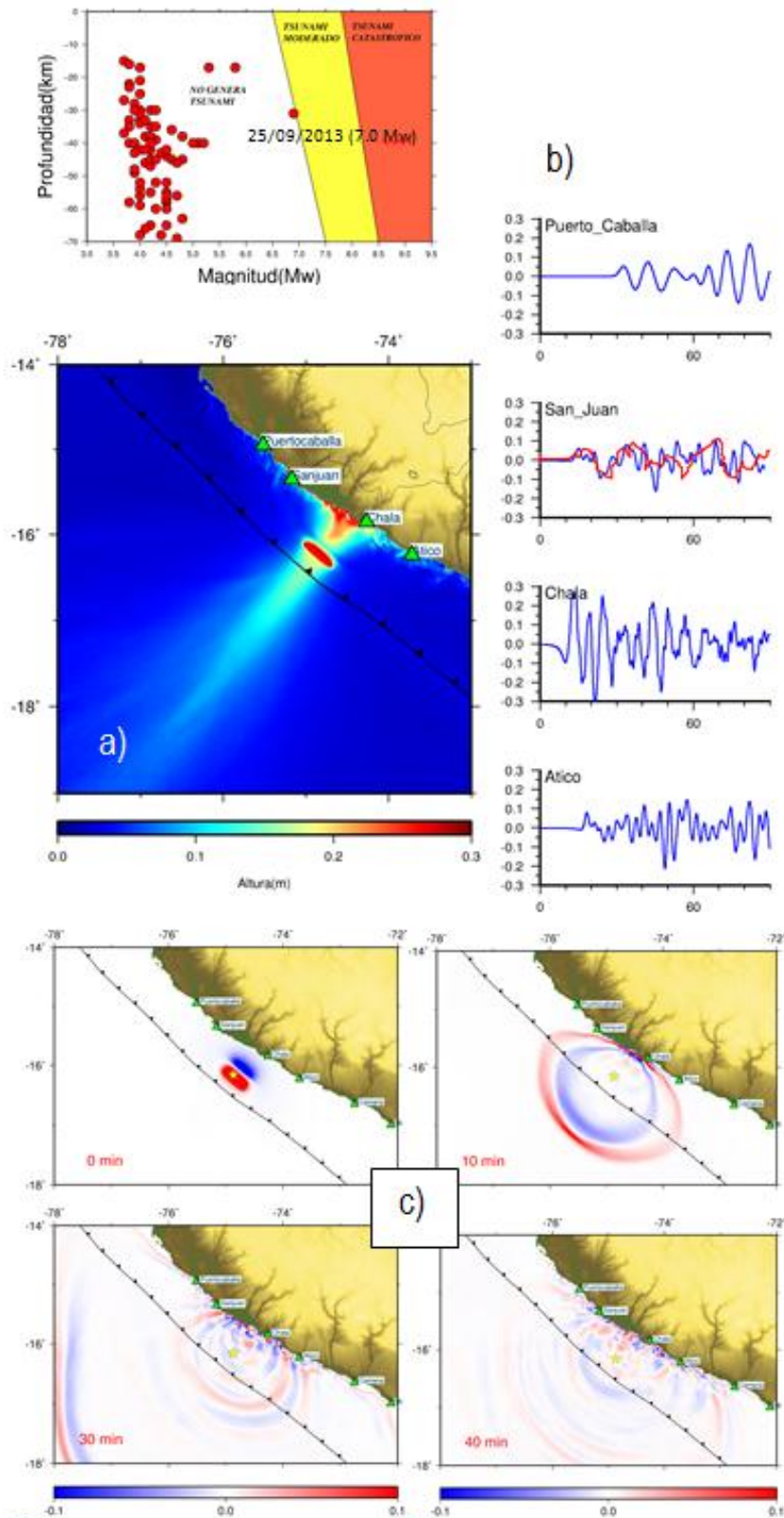


Figura 10: a) Mapa de máxima altura de la ola de tsunami, b) Registros mareográficos calculados y registrado, c) propagación del tsunami.

4.- ACELERACIONES MÁXIMAS

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. Para el sismo ocurrido el día 25 de septiembre del 2013 se ha analizado el registro de aceleración obtenido de la estación de Yauca (YCA) ubicada en la parte alta de dicha localidad a una distancia epicentro-estación de 66 km. En la Figura 11 se presenta los registros de aceleración del sismo para sus componentes norte-sur (NS) y vertical (Z), observándose que en dicha estación, las aceleraciones alcanzaron valores promedio de 240-280 cm/seg^2 . En las estaciones acelerométricas de Ica los valores de aceleración fueron de 12 cm/seg^2 ; mientras que en Mayorazgo (Lima), fueron de 4 cm/seg^2 .

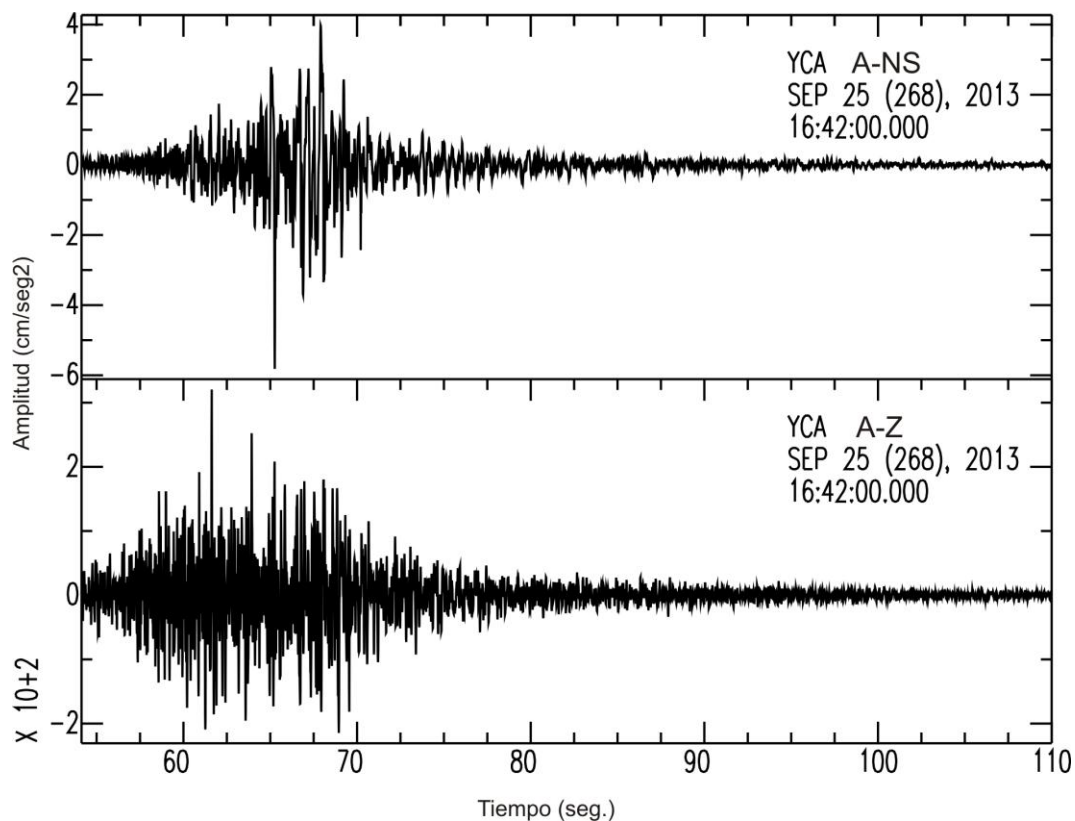


Figura 11- Registros de aceleración en las componentes NS y Z de la estación de Yauca para el sismo del 25 de Septiembre de 2013.

5.- DISCUSIÓN

El sismo de Yauca-Acarí del 25 de septiembre de 2013 presentó una magnitud de 7.0 Mw y su epicentro fue localizado a 66 km al SO de la localidad de Yauca (Provincia de Caraveli, Departamento de Arequipa). El radio de percepción fue de aproximadamente 350 km (Imax, II MM), siendo la máxima intensidad de VI (MM) evaluada en las localidades de Yauca, Acarí y Chala. Este sismo presento su foco a una profundidad de 31 km y tuvo su origen en el proceso de convergencia y subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana.

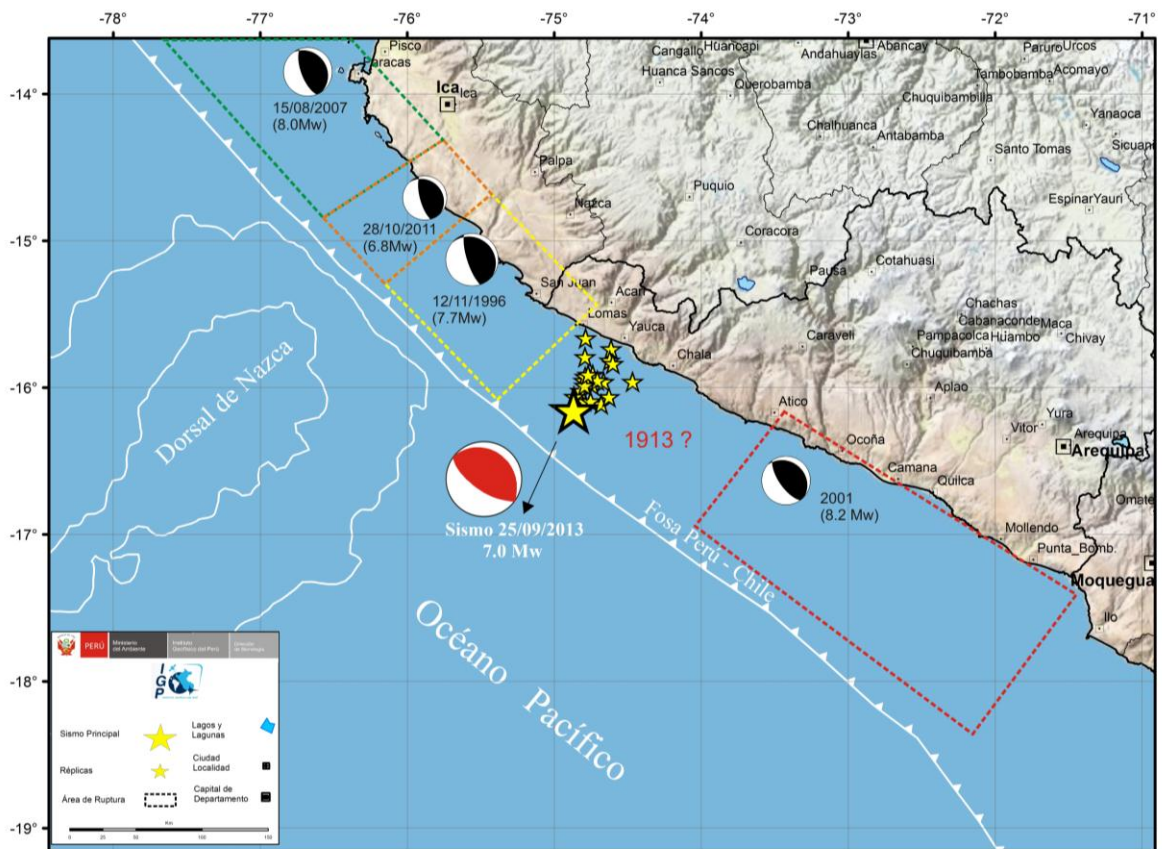


Figura 12- Distribución espacial de las áreas de ruptura de los sismos de Nazca-1996, Pisco-2007, Ica-2011, Arequipa-2001 y Yauca-Acarí del 25 de septiembre del 2013. Los mecanismos focales indican el desarrollo de similares procesos de ruptura. El área de ruptura asociada al sismo de 1913 (7.7Ms) estaría entre las áreas de los sismos de 1996 y 2001.

A fin de analizar la sismotectónica entorno al sismo de Yauca-Acarí, en la Figura 12 se presenta la distribución espacial de las áreas de ruptura de los sismos de Nazca-1996 (7.7Mw), Arequipa-2001 (8.2 Mw), Pisco-2007 (8.0Mw) e Ica-2011 (6.8Mw); además, del epicentro y réplicas del sismo de Yauca-Acarí. En esta figura, se observa que las áreas de ruptura de los terremotos antes indicados prácticamente se encuentran distribuidas sobre toda el área comprendida entre la fosa y la línea de costa de todo el departamento de Ica y parte del departamento de Arequipa. Es notoria la presencia de un área con longitud de su eje mayor del orden de 150 km ubicada entre las áreas de ruptura de los sismos de Nazca y Arequipa. Esta área se encuentra libre de eventos sísmicos importantes y por lo tanto, se encuentra acumulando energía probablemente desde el año 1913, fecha en que se produjo uno de los sismos más importantes en esta región (Silgado 1978). El epicentro y serie de réplicas del sismo del 25 de septiembre se encuentran en el extremo norte de esta área y por su magnitud, área de réplicas y posible radio de ruptura, no habría liberado el total de la energía acumulada desde el año 1913.

CONCLUSIONES

El sismo de Yauca-Acarí del 25 de septiembre de 2013 presentó una magnitud de 7.0 Mw y su epicentro fue localizado a 66 km al SO de la localidad de Yauca (provincia de Caraveli, departamento de Arequipa). El radio de percepción ($I_{max}=II$ MM) fue de aproximadamente 350 km, siendo la máxima intensidad de VI (MM) evaluada en las localidades de Yauca, Acarí, Atiquipa y Chala.

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 encuentran entre las áreas de ruptura de los sismos de Nazca-1996 y Arequipa-2001, la misma que no experimenta ruptura importante desde el año 1913. El sismo de Yauca-Acarí, por su magnitud, área de réplicas y radio de ruptura no habría liberado el total de la energía acumulada en esta área desde el año 1913.

BIBLIOGRAFIA

- Bernal, I. y Tavera, H (2002). Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú. Monografía, IGP, Lima-Perú, 63 pp.
- Chlieh, M., H. Perfettini, H. Tavera, J-P- Avoac, D. Remy, J-M. Nocquet, F. Rolandare, F. Bondoux, G. Gabalda, S. Bonvalot (2011) Interseismic coupling and seismic potential along the Central Andes subduction zone. *J. G. R.* vol. 116, doi:10.1029/2010JB008166, 2011
- De Mets, C., Gordon, R., Aarhus, A., y Stein, S. (1980). Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
- DHN (2013). El terremoto de Chala (Arequipa). Informe Técnico, Dirección de Hidrografía de la Marina de Guerra del Perú. 5 pag.
- 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.
- GEOAZUR (2013) <https://geoazur.oca.eu/>
- 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.
- Silgado, E. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). INGEOMIN, Lima, Perú, 132 pag.
- Tavera, H. y Buforn, E. (2001). Source mechanism of earthquakes in Perú. *Journal of Seismology*, 5, 519-540.
- Tavera, H., Buforn, E. y Perez-Pacheco, Y. (1999). Mecanismo focal del Terremoto de Nazca (Perú) del 12 de Noviembre de 1996 (Mw=7.7). *Revista Geofísica, IPGH*, 49,13-163.
- Tavera, H., Bernal, I. (2005). Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Volumen Especial N° 6 Alberto Giesecke Matto, Soc. Geolog. Peru, pág. 89-102.
- Tavera, H., Bernal, I. (2008). The Pisco Peru earthquake of August 15th. *Seismological Research Letters*, Volume 79, Number 4 July/August 2008
- Tavera, H., L. Arredondo, I. Bernal, E. Fernandez (2011). Sismo de Ica del 28 de Octubre del 2011 (6.8ML), Informe Técnico N°02-2011, Dirección de Sismología, IGP. 16 pag
- Umlauff, A. (1915) La región sísmica de Caravelí. *Bol. Soc. Geog. De Lima*, Tomo XXXI, 2do. Trim. Lima

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>