



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Dirección
de Sismología



Sismo de Contamana - Loreto
del 24 de Agosto del 2011 (7.0 Mw)
(Zona Oriental de la Región Central del Perú)

ASPECTOS SISMOLOGICOS

Por:

Hernando Tavera
y
Grupo de Sismología

Informe Técnico N° 01-2011

Lima-Perú
Agosto, 2011

Dirección de Sismología

Personal participante:

Agüero, Consuelo
Arredondo, Luz
Bernal, Isabel
Cachi, Lennin
Condori, Cristóbal
Fernández, Efraín
Flores, Christian
Guardia, Patricia
Martínez, Julio
Millones, José
Ochoa, Ángel
Rodríguez, Simeón
Salas, Henry
Torres, Liliana

INDICE

1.- INTRODUCCION

2.- EL SISMO DE CONTAMANA DEL 24 DE AGOSTO DEL 2011

2.1.- PARAMETROS HIPOCENTRALES

2.2.- INTENSIDADES

2.3.- REPLICAS

2.4.- ORIENTACION DE LA FUENTE

2.5.- PROFUNDIDAD, LONGITUD DE RUPTURA Y MOMENTO SISMICO

3.- CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

1.- INTRODUCCION

En el borde occidental de Perú se desarrolla el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana con 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. En general, 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 caso del Perú, la ocurrencia de sismos es continua en el tiempo y cada año, se registra y reporta un promedio de 150 sismos sensibles en superficie con intensidades mínimas de II-III (MM) y magnitudes $ML \geq 4.5$. Los sismos con magnitud mayor a $M \geq 7.0$, son menos frecuentes y cuando ocurren cerca de la superficie, debido a la fricción de placas, producen importantes daños en áreas relativamente grandes, tal como sucedió en la región Sur de Perú el 23 de Junio de 2001 ($Mw=8.2$) y en Pisco, el 15 de Agosto de 2007 ($Mw=7.9$). A niveles más profundos, estos sismos pocas veces producen daños en razón que la energía emitida se atenúa rápidamente antes de llegar a la superficie. 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 ML. 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. En la Figura 1, se presenta el mapa de sismicidad del Perú con los sismos ocurridos entre los años 1964 y 2008, todos diferenciados por su magnitud y nivel de profundidad.

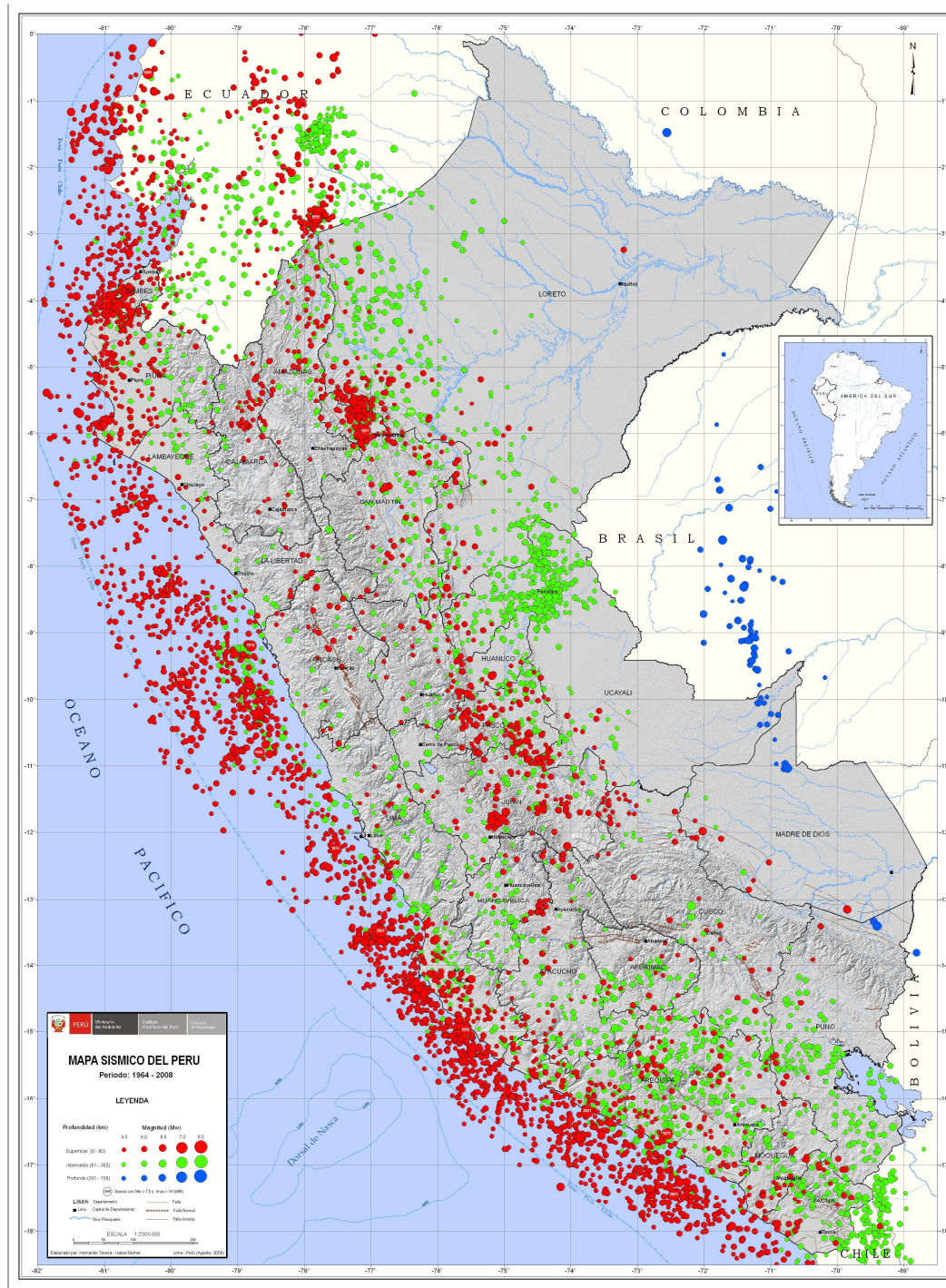


Figura 1.- Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1964 y 2008. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos. Los círculos con número inscrito en su interior indican la ubicación y año de ocurrencia de los grandes sismos.

En la zona oriental de la región central del Perú, el día 24 de agosto del 2011, ocurre un sismo de magnitud moderada (7.0 ML, 7.1 Mw) y epicentro ubicado a 37 km al SE de la localidad de Contamana (Loreto) y 93 km al N-NO de la ciudad de Pucallpa (Ucayali). El sismo ocurrió a una profundidad de 148 km (foco intermedio) y en general, presento un área de percepción con radio del orden de 700 km ($I_{max}=II$), siendo mayor su intensidad entorno a las ciudades de Contamana y Pucallpa. En este informe se presenta los parámetros hipocentrales del sismo, intensidades evaluadas, réplicas, orientación de la fuente y su interpretación sismotectónica.

2.- EL SISMO DE CONTAMANA DEL 24 DE AGOSTO DE 2011

2.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 24 de Agosto del 2011 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:	17h 46min del 24 de agosto, 2011 (Hora Universal)
	12h 46min del día 24 de agosto, 2011 (Hora Local)
Latitud Sur:	-07.5674°
Longitud Oeste:	-74.7593°
Profundidad:	148 km
Magnitud:	7.0 ML
Epicentro:	A 37 km al SE de la ciudad de Contamana (Loreto)
	A 93 km al N-NO de la ciudad de Pucallpa (Ucayali)
Intensidad Máxima:	V-VI en la escala de Mercalli Modificada en Contamana
Momento Sísmico:	4.4E+26 dina-cm (Global CMT)
Magnitud Momento:	7.0 Mw

En la Figura 2 se presenta la ubicación del epicentro del sismo de Contamana junto a los epicentros correspondientes a los sismos sensibles ocurridos en la región central del Perú entre los años 2009 al 2011. De acuerdo a la ubicación del epicentro, el sismo ocurrió en una zona de continua ocurrencia de sismos de magnitud moderada, mostrando en conjunto la existencia de una pequeña área de deformación a niveles intermedios de profundidad, estando el epicentro del sismo del 24 de agosto ubicado en su extremo norte. En profundidad, el foco del sismo de Contamana sigue el patrón de sismicidad definido para esta región y en conjunto muestran que la placa oceánica al llegar, en distancia, por debajo del borde oriental de la cordillera cambiaría su geometría subhorizontal, para continuar con el desarrollo de un posible proceso de re-

subducción, tal como lo sugieren Schnaider et al (1985), Tavera y Buforn (2001), y Bernal y Tavera (2002).

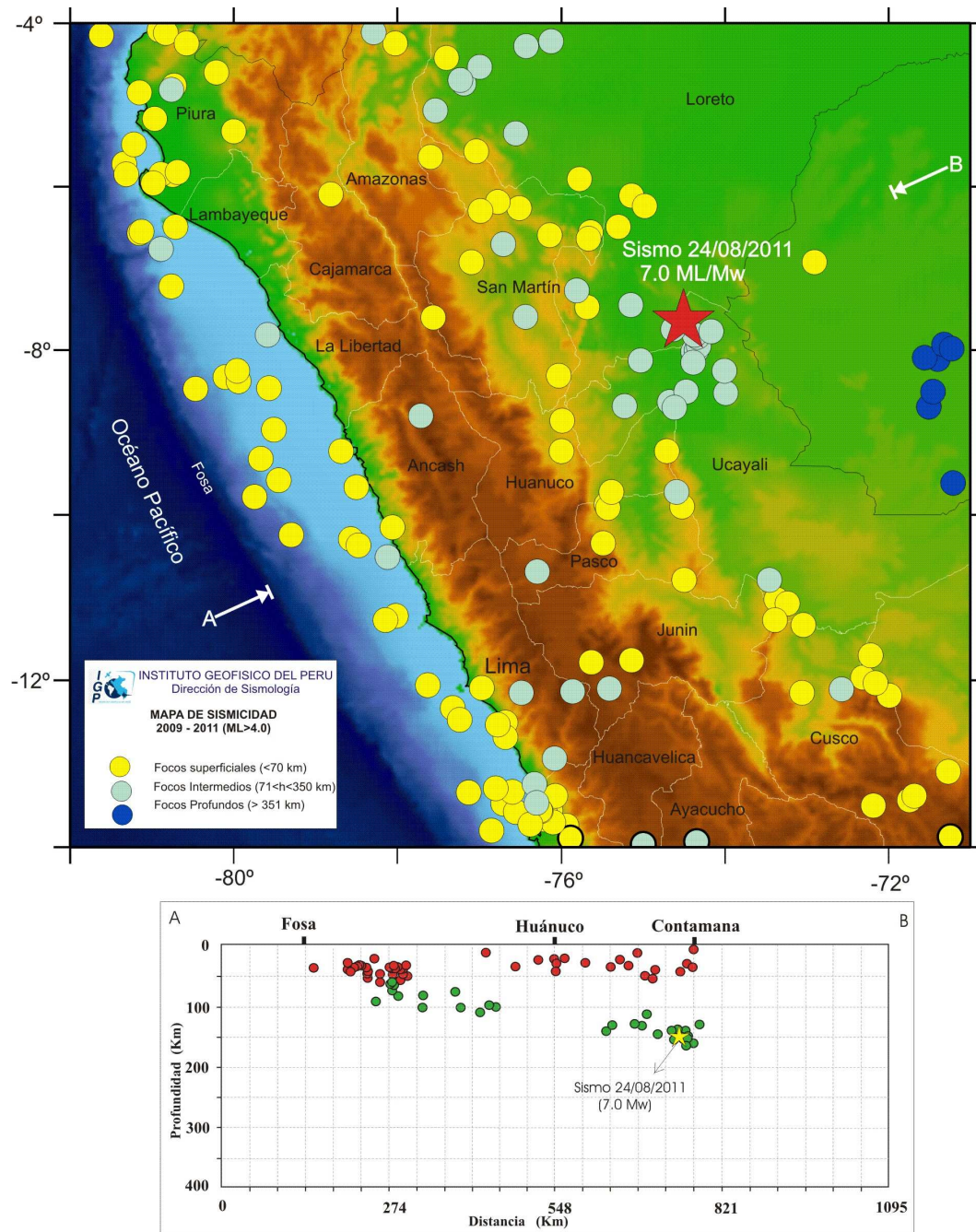


Figura 2.- Distribución espacial de la sismicidad en la región central del Perú. La profundidad de los sismos es indicada con el color del círculo. La estrella indica la ubicación del sismo de Contamana del 24 de agosto de 2011. En la sección vertical se muestra el hipocentro del sismo sobre la tendencia media de la sismicidad para la región central del Perú.

Los parámetros hipocentrales reportados por el National Earthquake Information Center (NEIC – USGS) son prácticamente similares a las indicadas en este informe.

2.2.- Intensidades

Después de haberse producido el sismo de Contamana, se procedió a realizar la evaluación de los efectos, daños y radio de percepción del sismo en todo el territorio peruano, incluyendo países vecinos como Ecuador, Bolivia y Brasil. 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 las localidades mayores de cada departamento y la información obtenida fue interpretada utilizando la escala de Mercalli Modificada (Figura 3). La descripción más resaltante se detalla a continuación:

Ciudades de Contamana y Pucallpa: Sentido fuerte por todos, muchas personas salieron apresuradas a las calles. Se ha observado daños en algunas viviendas (paredes desquebrajadas), además de la caída de objetos en sus interiores. Los pobladores indicaron que la viviendas de mecían como péndulos y las pistas a manera de olas de mar. En estas ciudades la intensidad evaluada fue de V-VI en la escala de Mercalli Modificada.

Ciudades de Tarapoto, Juanjui y Tocache (San Martín), Aguaytia (Ucayali), Tingo Maria (Pasco): Sentido fuerte por personas que se encontraban en viviendas, muchas de ellas salieron a las calles debido al movimiento de paredes y objetos. En estas localidades la intensidad evaluada fue de IV en la escala de Mercalli Modificada.

Ciudades de Lima, Barranca, Cañete: Sentido como un movimiento rápido por personas que se encontraban en superficie y lento de gran duración, por aquellas que se encontraban en pisos superiores. Algunas personas salieron rápidamente a las calles. No se produjeron daños. En estas localidades la intensidad evaluada fue de II en la escala de Mercalli Modificada.



Figura 3.- Mapa preliminar de intensidades en la escala Mercalli Modificada para el sismo de Contamana del 24 de agosto de 2011. La estrella indica la ubicación del epicentro del sismo. Los valores de aceleración del suelo son expresados en cm/seg².

Por otro lado, en la Figura 3 se ha indicado los valores de aceleración del suelo registrados en las estaciones acelerométricas de Tarapoto (San Martín), Mayorazgo y Ancón (Lima), Milpo (Ancash) y Huancayo (Junín), siendo estos coherentes con los valores de intensidad evaluados mediante encuestas.

Por otro lado, tal como ocurrió con sismos anteriores (Arequipa 2001 y Pisco 2007), en la ciudad de Lima se produjo el colapso de líneas telefónicas y corte de fluido eléctrico en algunos distritos. De acuerdo a información recopilada de radioemisoras, prensa escrita y televisión, el sismo fue perceptible en ciudades como Quito, Loja y Guayaquil (Ecuador), Río Branco (Brasil) y La Paz (Bolivia) con intensidades de II (MM). En general, el sismo de Contamana tuvo un radio de percepción del orden de 700 km, esto debido a la profundidad a la cual ocurrió el sismo.

De manera puntual, el sismo de Contamana produjo el desprendimiento de un cerro en el Distrito de Monobamba (Jauja) dejando incomunicado a varios poblados, asimismo fisuras en paredes y campos deportivos de concreto en algunos colegios de Pucallpa (Figura 4). En las localidades de Chocobamba y Chinchil (Huanuco) hubo daños parciales en viviendas de adobe.



Figura 4.- Imágenes que muestran los efectos del sismo de Contamana en el cerro Monobamba en Jauja y lozas deportivas de algunos colegios de Pucallpa (Fuente: RPP).

2.3.- Réplicas

El sismo de Contamana fue seguido en las primeras 24 horas por un total de 30 réplicas con magnitudes entre 3.5 y 5.0 ML, todas ellas registradas en la estación de Pucallpa ubicada a solo 38 km del epicentro del sismo. Del total de las replicas, la ocurrida a las 01horas 56min (18:56 GMT) presentó una magnitud de 5.0 ML con foco a una profundidad del orden de 150 km; es decir, próximo al sismo principal. En la Figura 5 se muestra el registro del sismo principal y los correspondientes para las replicas ocurridas en los primeros 60 minutos. El tamaño del registro de las replicas sugieren su variada magnitud. A diferencia de otros sismos ocurridos a los mismos niveles de profundidad y similares magnitudes (por ejemplo, sismo de Yurimaguas del 2005), se ha logrado registrar un importante numero de replicas.

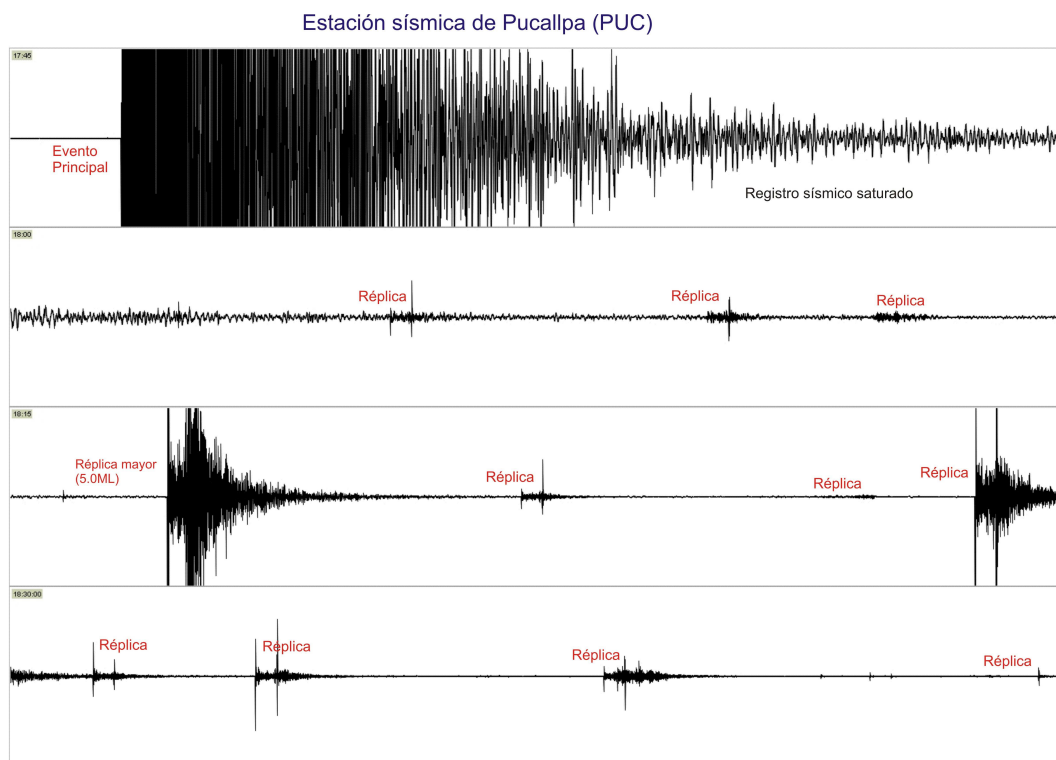


Figura 5.- Registro de la estación sísmica de Pucallpa con las señales correspondientes al sismo principal y réplicas del sismo de Contamana.

2.4.- Orientación de la Fuente

La orientación preliminar para la fuente del sismo de Contamana del 24 de agosto 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 Contamana presenta un mecanismo focal de tipo normal con planos orientados en dirección N-S y eje de extensión (T) prácticamente horizontal. El mecanismo de la fuente indica el desarrollo de un proceso de ruptura por extensión, coherente con el tipo de deformación que se produce en el interior de la placa oceánica por debajo de la cordillera andina.

La solución obtenida es similar a la propuesta por el NEIC (USGS) y el proyecto “Global CMT” a partir del método de inversión tensor momento (Centroid Moment Tensor).

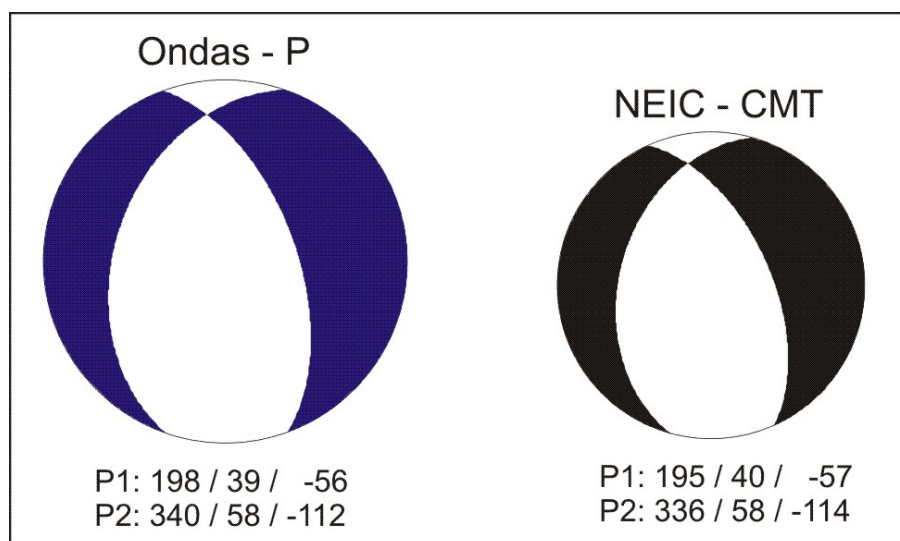


Figura 6- Mecanismo focal obtenido para el sismo de Contamana del 24 de agosto de 2011. La solución corresponde a un proceso de ruptura de tipo extensional con planos nodales orientados en dirección N-S. Ondas P: solución obtenida en este estudio y NEIC-CMT: solución propuesta por el USGS y Global CMT.

En la Figura 7 se presenta los mecanismos focales correspondientes a sismos con magnitudes ≥ 4.5 ocurridos en las regiones norte-centro de Perú entre los años 2009-2011. Obsérvese que en la zona de costa los mecanismos son de tipo compresional (esferas de color rojo); mientras que, en la zona oriental son de tipo extensional (esferas de color azul). El sismo de Contamana

presenta una solución similar otros sismos ocurridos en la misma zona y según la sección vertical, a la profundidad de 120-160 km, se desarrollan procesos de deformación por extensión debidos a la deformación interna de la placa de oceánica por debajo de la Cordillera Andina.

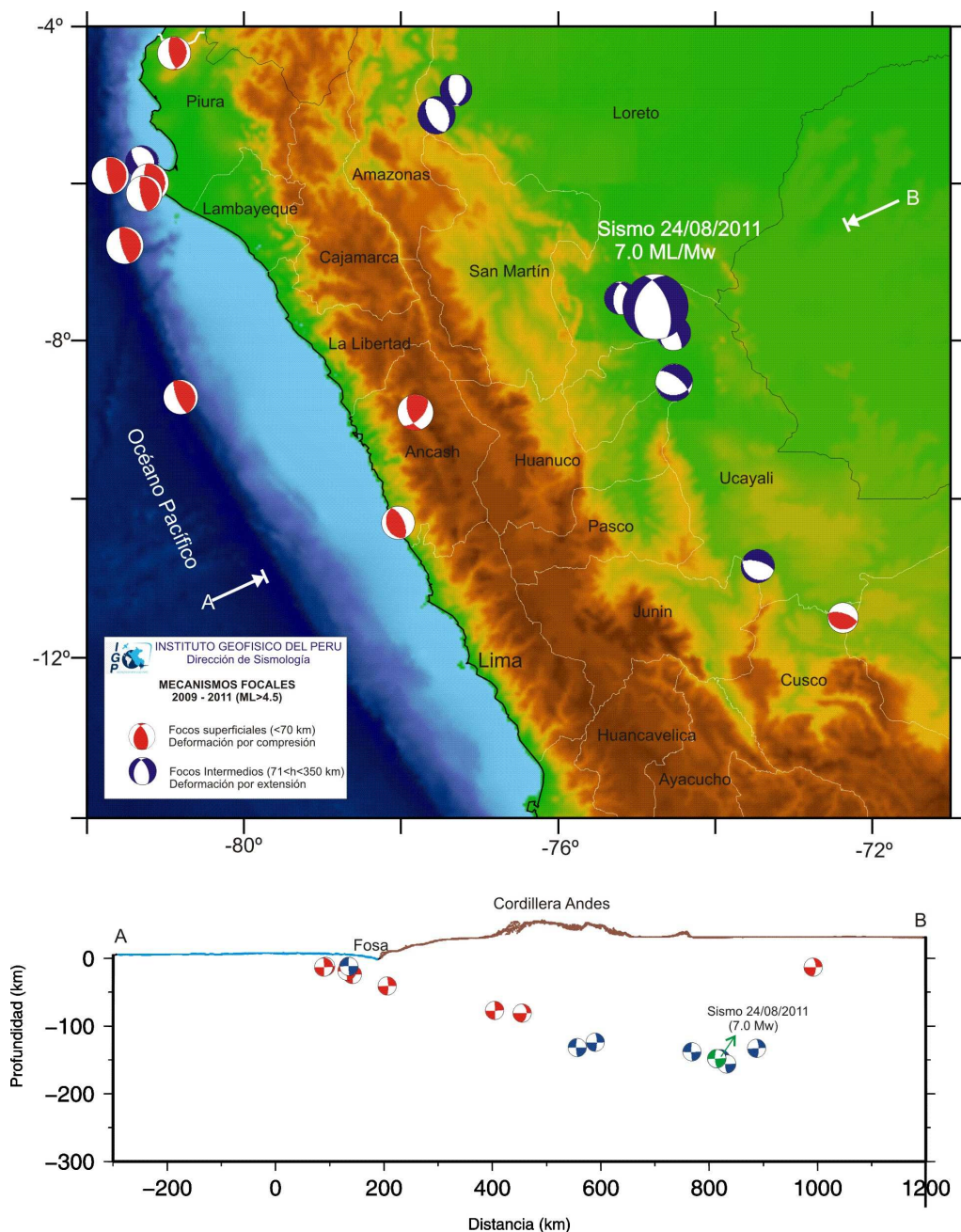


Figura 7- Mecanismos focales para sismos con magnitudes ≥ 4.5 ocurridos en la región norte-centro de Perú durante el periodo 2009-2011 (Fuente: Global CMT Project). La esfera de mayor tamaño corresponde al sismo de Contamana del 24 de agosto de 2011. En la sección vertical, se observa que a estos niveles de profundidad de desarrollan procesos de deformación por extensión.

En la Figura 7 se presenta los mecanismos focales correspondientes a sismos con magnitudes ≥ 4.5 ocurridos en las regiones norte-centro de Perú entre los años 2009-2011. Obsérvese que en la zona de costa los mecanismos son de tipo compresional (esferas de color rojo); mientras que, en la zona oriental son de tipo extensional (esferas de color azul). El sismo de Contamana presenta una solución similar otros sismos ocurridos en la misma zona y según la sección vertical, a la profundidad de 120-160 km, se desarrolla procesos de fracturamiento por extensión debidos a la deformación interna de la placa de oceánica por debajo de la Cordillera Andina.

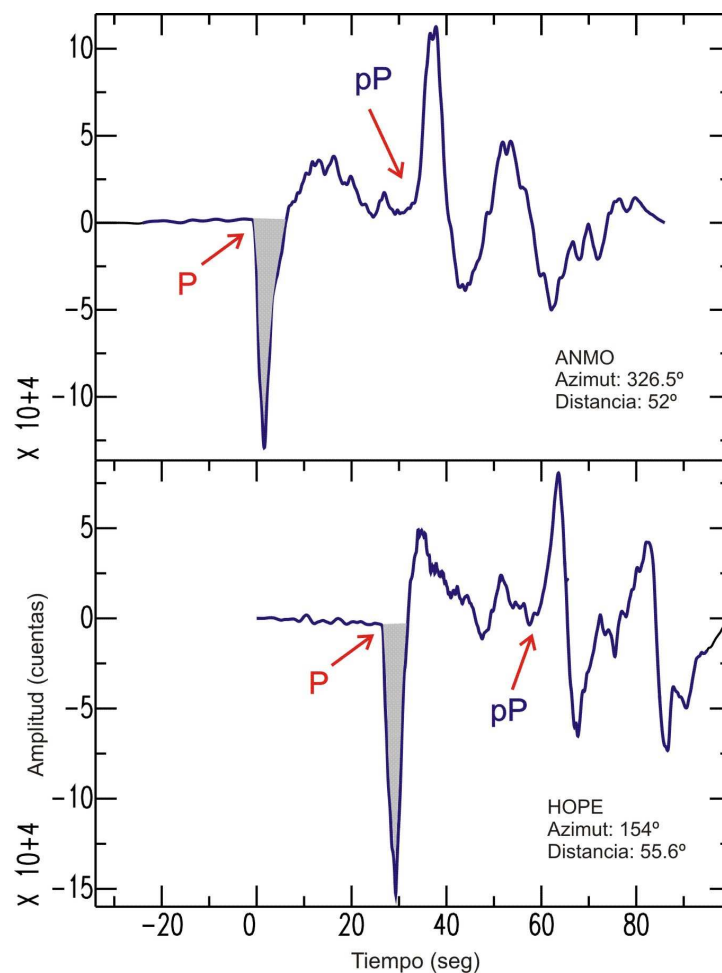


Figura 8- Formas de onda correspondiente al grupo de la onda P para el sismo de Contamana en las estaciones ANMO y HOPE de la red sísmica mundial. Se indica los pulsos para las ondas P y pP, asimismo el área correspondiente al desplazamiento del suelo producido por el terremoto.

2.5.- Profundidad, Longitud de Ruptura y Momento Sísmico

La profundidad del foco del sismo de Contamana fue estimada en 148 km a partir del calculo hipocentral; sin embargo, a fin de cuantificar este valor se ha procedido a utilizar un método directo basado en la diferencia de tiempos de llegada de las fases pP-P leídos en los registros de dos estaciones sísmicas de la red mundial, ANMO y HOPE ubicadas a similar distancia epicentral y separadas en azimut en aproximadamente 180° (Figura 8). La diferencia en los tiempos de llegada de estas fases es en promedio 35 segundos. Utilizando las tablas de recorrido-tiempo de la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra (IASPEI, Kennett, 1991), se ha estimado una profundidad media de 146 km. Esta profundidad para el foco del sismo de Contamana es consistente con la obtenida a partir del calculo hipocentral y por el USGS (NEIC).

Asimismo, en la Figura 8, se muestra los registros del desplazamiento del suelo en las estaciones sísmicas de ANMO y HOPE correspondiente al sismo de Contamana, en ellos se ha marcado en color gris el pulso asociado a la fuente sísmica, que por sus características sugiere el desarrollo de un proceso simple de ruptura con una duración media de 7.5 segundos, equivalente a un radio de ruptura del orden de 26 km ($r = V_r * t$).

Por otro lado, considerando el área del pulso del desplazamiento del suelo (Figura 8) y utilizando las relaciones descritas por Fukao (1972), Furumoto (1977) y Moncca (2010), se obtiene un Momento Sísmico de $4.1E+26$ dina-cm, equivalente a una magnitud momento de 7.0 Mw.

3.- CONCLUSIONES

El sismo del 24 de Agosto de 2011 presentó una magnitud de 7.0 ML (7.0 Mw) y su epicentro fue localizado a 37 km al SE de la ciudad de Contamana (Loreto). El radio de percepción ($I_{max}=II$ MM) fue de aproximadamente 700 km entorno a las ciudades de Contamana y Pucallpa, en donde se evaluó intensidades máximas de V-VI (MM). Este sismo presento su foco a una profundidad de 148 km y tuvo su origen en los procesos de deformación interna de la placa de Nazca por debajo de la Cordillera Andina, tal como se muestra en la Figura 9. El mecanismo focal corresponde a un proceso de ruptura por extensión con planos nodales orientados en dirección NS, coherente con el tipo de deformación que se desarrolla en el interior de la placa oceánica como resultado de las fuerzas que movilizan la placa en dirección Este y a niveles de profundidad del orden de 120-160 km.

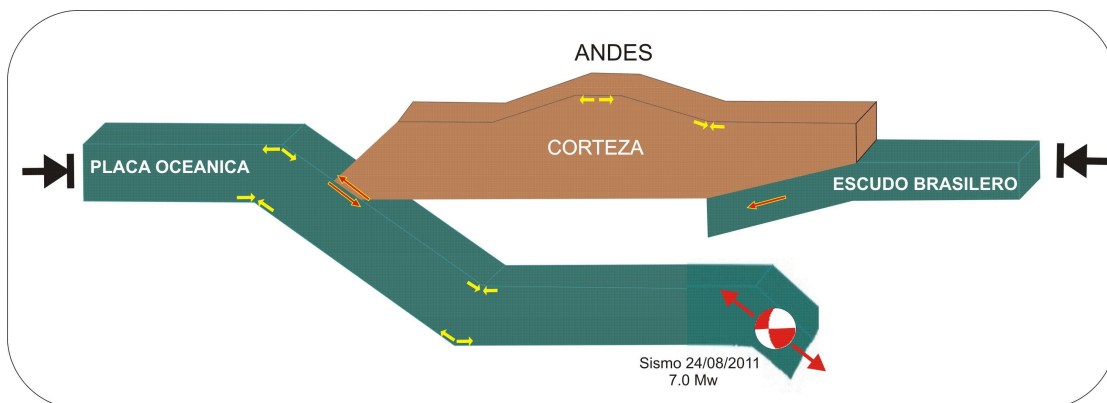


Figura 9.- Esquema que muestra la distribución de los principales elementos geodinámicos que interactúan para generar los sismos en el Perú. El sismo de Contamana se ha producido por la presencia de fuerzas extensionales que movilizan la placa de Nazca en Dirección Este y producen su posible re-subducción para introducirse en el manto.

La duración del proceso de ruptura fue estimada en 7.5 segundos equivalente a un radio de ruptura de 26 km., asimismo el momento sísmico fue calculado en $4.1E+26$ dina-cm equivalente a una magnitud momento de 7.0Mw.

Debido a la profundidad a la cual se produjo el sismo de Contamana, es posible que se desarrolle el proceso de re-subducción de la placa oceánica, tal como fue propuesto por otros autores.

El sismo de Contamana presento un gran radio de percepción debido básicamente a la profundidad a la cual ocurrió el evento (148 km), lo que facilito que la energía liberada produzca un mayor sacudimiento de la Cordillera de los Andes. Eventos sísmicos similares ocurrieron el 25 de enero del 2010 en Pucallpa (6.2 MI, 121 km de profundidad), 18 de Mayo de 2010 en Bagua (6.2 MI, 121 km de profundidad) y 23 de Mayo de 2010 en Ayacucho (6.0 MI, 110 km de profundidad).

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 function temporal de la fuente sísmica y su aplicacion 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 an B value of intermediate depth earthquake beneath Central Peru, *Geophys. Res. Lett.* 15, 1421-1424
- Tavera, H. y Bufo, 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>