

INFORME TECNICO

TERREMOTO CAUQUENES 27 FEBRERO 2010

SERVICIO SISMOLOGICO

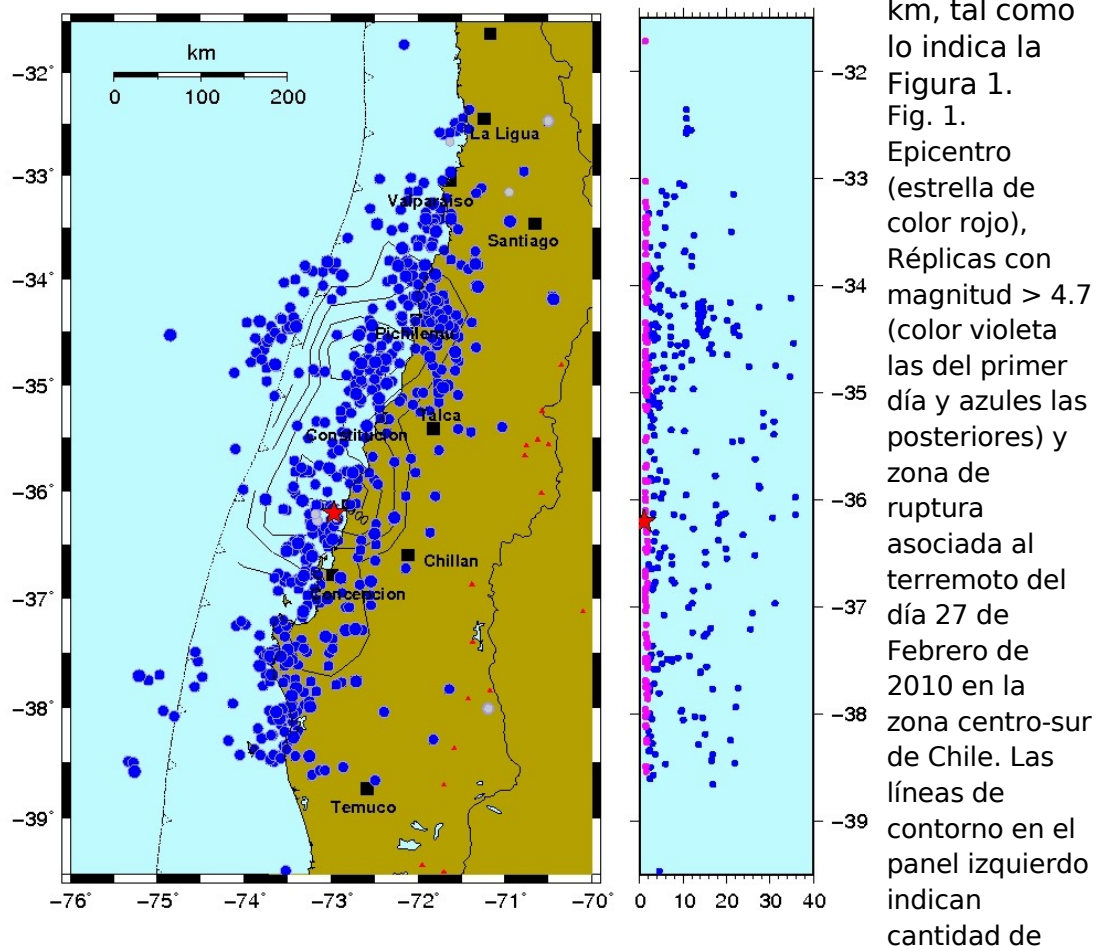
UNIVERSIDAD DE CHILE

Santiago, 3 Abril 2010

El gran terremoto, magnitud 8.8 (Mw), que ocurrió el 27 de Febrero a las 03:34 a.m. (hora local) en la zona central de Chile, se originó debido al desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en un área que se extiende aproximadamente desde la Península de Arauco por el sur hasta el norte de Pichilemu, cubriendo unos 450 km de longitud en dirección prácticamente norte-sur por un ancho de unos 150 km. Esta zona de contacto entre las placas, cuya expresión superficial es la fosa que se ubica unos 130 km de la costa hacia el Oeste, se localiza a lo largo del plano inclinado que define el área de fallamiento causante del terremoto.

Parámetros Hipocentrales

El hipocentro, o lugar donde se inicia la ruptura, se ubicó en las coordenadas geográficas 36° 12' 28" S y 72° 57' 46" W a una profundidad estimada de 47



km, tal como lo indica la Figura 1. Fig. 1. Epicentro (estrella de color rojo), Réplicas con magnitud > 4.7 (color violeta las del primer día y azules las posteriores) y zona de ruptura asociada al terremoto del día 27 de Febrero de 2010 en la zona centro-sur de Chile. Las líneas de contorno en el panel izquierdo indican cantidad de desplazamiento en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, alcanzando valores máximos del orden de 12 m. El panel derecho muestra la actividad de réplicas en función del tiempo en días después del evento principal (día 1). El día 34 corresponde al 1 de Abril del 2010.

El segmento del contacto entre la placa de Nazca y Sudamericana que se activó (zona de falla) y produjo el terremoto del 27 de Febrero alcanzó un área del orden de 450 km x 130 km con un desplazamiento superior a 10 m, tal como lo muestra la Fig. 1. Es usual que la ruptura no ocurra simultáneamente en toda la extensión de la falla, sino que ésta se propague a una velocidad del orden de 2.5 a 3.5 km/s. Estimaciones del tiempo que tomó la ruptura en propagarse a lo largo de toda la falla activada están en el orden de 110 s, tal como lo muestra la Fig. 2, preparada por L. Ruff (U. of Michigan).

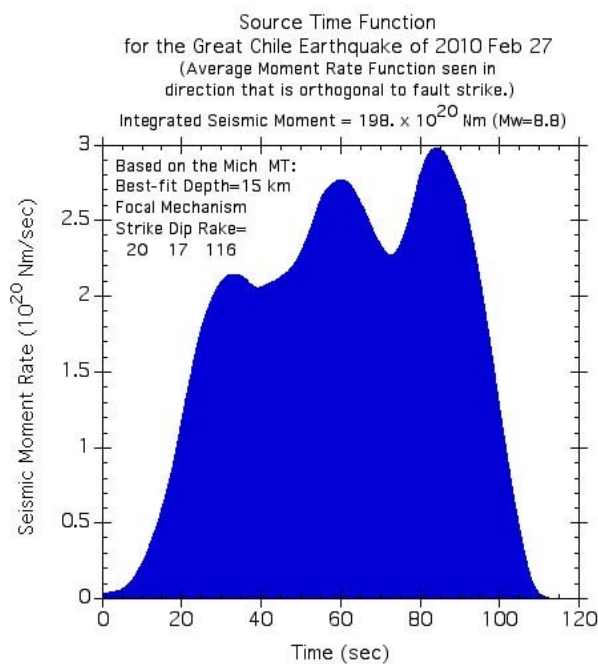


Fig. 2. La tasa de liberación de momento sísmico representa una medida de cómo se liberó la energía en la falla (tres pulsos siendo el siguiente mayor que el anterior) y su duración total es de 110 s.

Como antecedente adicional, las redes sismológicas globales que han captado el sismo mayor han publicado los siguientes datos, en comparación con los que proporcionó el Servicio Sismológico de la Universidad de Chile. Cabe destacar que la determinación de la magnitud de las agencias internacionales se realiza a distancias telesísmicas (> 1000 km) en tanto que aquella estimada por el SSN utiliza datos locales.

Agencia	Tiempo Origen (UTC)	Latitud °S	Longitud °W	Profundidad (km)	Magnitud
NEIC (EE.UU.)	06:34:14	35.909	72.733	35	8.8
GEOFON (Alemania)	06:34:11.9	36.05	72.75	24	8.3
EMSC (Francia)	06:34:14.1	35.888	73.043	30	8.8
SSN (Chile)	06:34:12	36.208	72.963	47	8.8*

*Magnitud inicialmente estimada en 8.3 a partir de datos locales.

Réplicas

Luego de la ocurrencia de cualquier sismo en la zona de subducción, es de esperar la ocurrencia de réplicas, aunque sean detectadas solamente de manera instrumental. Es un proceso natural ya que el campo de tensiones internas en las placas así como en la zona de contacto se ha alterado considerablemente luego de la ocurrencia del evento mayor. Las réplicas ocurren principalmente en la zona que ha sido fracturada como también en los extremos de la zona de ruptura, en este caso tanto el extremo norte (VI Región) como el extremo sur (VIII Región). Las réplicas posiblemente continuarán por varios meses más y su magnitud debiese disminuir al igual que su frecuencia; sin embargo, no es posible descartar la ocurrencia de réplicas de magnitud significativa.

Es necesario destacar que las probabilidades de ocurrencia de un evento de las mismas características, es decir, la activación de la falla que genere un terremoto de magnitud 8.8 en la misma región, son muy bajas. Estimaciones preliminares de desplazamiento ocurridos en la falla alcanzan a valores del orden de 10 a 12 m. Para permitir desplazamientos de este orden en el futuro, es necesaria la acumulación de energía elástica durante decenas de años, ya que la tasa de convergencia es del orden de 6.7 cm/año.

La Fig. 3 muestra cómo las réplicas de magnitud 4.8 o superior, se distribuyen durante las primeras tres semanas después de ocurrido el terremoto, tanto en magnitud como en número de eventos por día. Nótese el gran número de réplicas con magnitud mayor que 4.7 acontecidas durante los primeros tres días de la secuencia. Durante las primeras tres semanas de ocurrido el evento se han registrado más de 260 réplicas con magnitud superior a 5.0 y 18 con magnitud igual o superior a 6.0. Se han registrado varios miles de réplicas de menor magnitud, en general no sentidas por la población. No han ocurrido a la fecha réplicas de magnitud 7.0 o superior. Datos de magnitudes proporcionados por el Centro Nacional de Información Sísmica (NEIC) del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS).

Debido a problemas de energía y comunicaciones ocasionados por el terremoto, el Servicio Sismológico de la Universidad de Chile pudo realizar tareas de mantenimiento y regularizar el funcionamiento de las estaciones sismológicas dispuestas en la región solamente diez días después de ocurrido el evento principal. Estas circunstancias se reflejan en el menor número de réplicas localizadas durante la primera semana, las cuales se muestra en la Figura 4. El panel superior de la misma figura muestra el umbral de detección en magnitud, en este caso es alrededor de 2.5. El número de eventos por día localizados por el SSN, que utiliza datos de la red local y que se muestra en el panel inferior, es mayor que aquel reportado por el NEIC. Esto se debe al hecho que una red local permite una mayor detectabilidad ya que los eventos sísmicos se encuentran más cercanos a las estaciones.

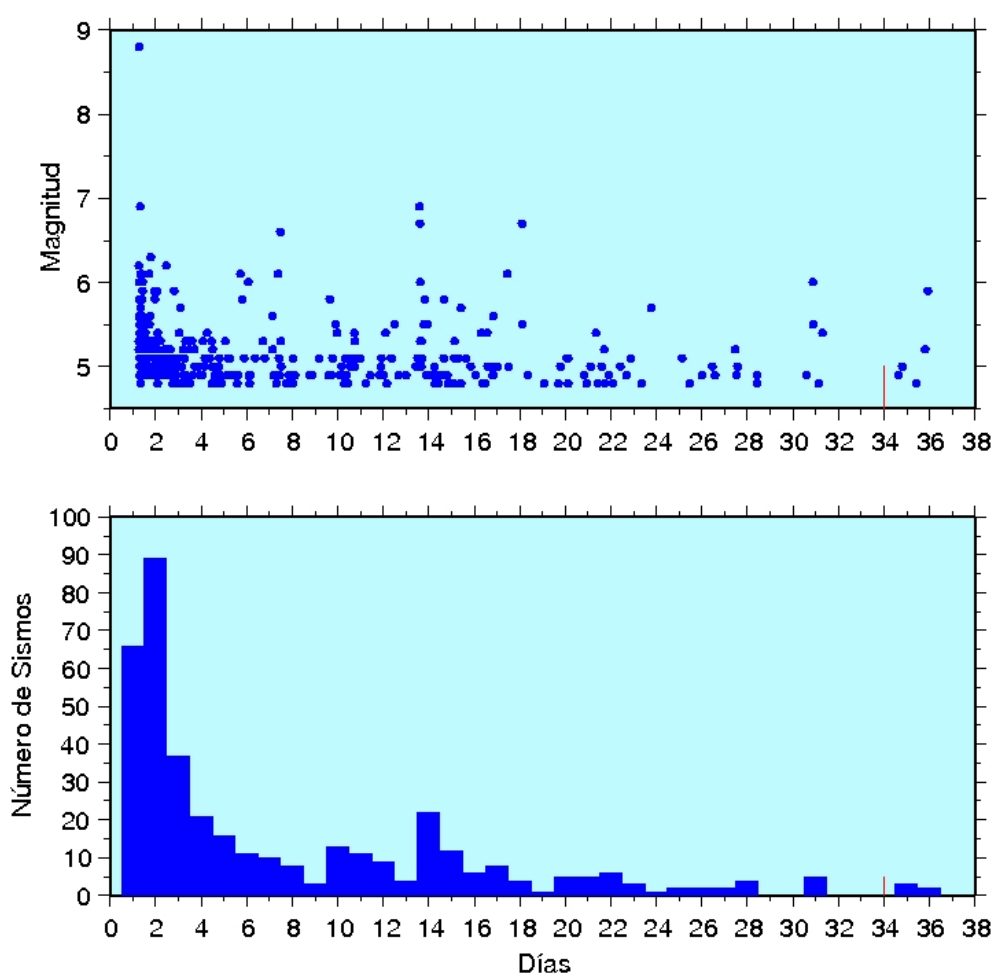


Fig. 3. Distribución temporal de las réplicas en función de su magnitud (solamente aquellos eventos con magnitud superior a 4.7; panel superior) y el número de sismos por día que se han registrado hasta 36 días después del evento principal (hasta el día 3 de Abril). Datos de magnitudes proporcionados por el Central Nacional de Información Sísmica (NEIC) del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS).

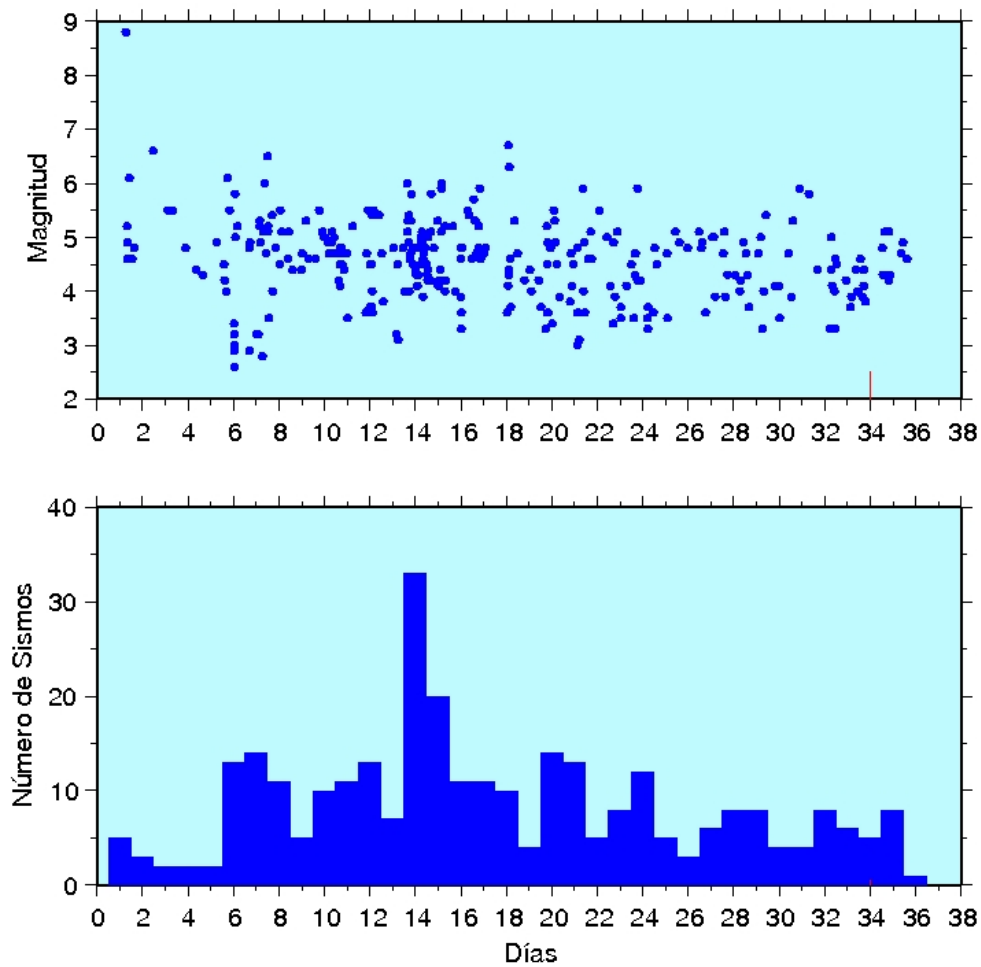


Fig. 4. Distribución temporal de las réplicas sensibles en función de su magnitud a partir de los datos registrados por el Servicio Sismológico de la Universidad de Chile. El menor número de réplicas registradas durante los primeros días después de ocurrido el terremoto, comparada con el gráfico anterior, se debe al funcionamiento parcial de las estaciones en las áreas aledañas a la zona de ruptura, situación que se regulariza al cabo de la primera semana. Se puede apreciar que el umbral de detección de sismos con magnitudes de hasta 2.5 es posible con la red local. La red local permite reportar todos aquellos eventos sensibles en la región afectada por el terremoto, esto no es posible si se cuenta solamente con información a partir de una red global.

Aceleraciones

El Servicio Sismológico cuenta con un variado número de instrumentos para registrar las aceleraciones producidas por los eventos sísmicos acaecidos en el país. Para este terremoto, las aceleraciones preliminares (sin corrección) registradas fueron las siguientes:

Red Sismológica Nacional

Localidad	Aceleración Máx. Horizontal NS	Aceleración Máx. Horizontal EW	Aceleración Máx. Vertical
Colegio San Pedro, Concepción	0.65 g	0.58 g	0.60 g
Cerro Calán, Santiago	0.20 g	0.23 g	0.11 g
Campus Antumapu, Santiago	0.23 g	0.27 g	0.17 g
Cerro El Roble	0.19 g	0.13 g	0.11 g

Esta tabla se actualizará a medida que se obtengan nuevos datos de aceleración. Los registros de aceleración generados como consecuencia del evento del 27 de Febrero se encuentran en el Anexo I.

También la Red de Acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile (www.renadic.cl) ha reportado hasta el momento valores extremos (sin corrección) de aceleraciones máximas horizontales y verticales.

RENADIC

Localidad	Aceleración Máx. Horizontal	Aceleración Máx. Vertical
Depto. Ing. Civil, U. de Chile	0.17 g	0.14 g
Estación Metro Mirador	0.24 g	0.13 g
CRS Maipú, R.M.	0.56 g	0.24 g
Hospital Tisne, R.M.	0.30 g	0.28 g
Hospital Sótero del Río R.M.	0.27 g	0.13 g
Hospital de Curicó	0.47 g	0.20 g
Hospital de Valdivia	0.14 g	0.05 g

Antecedentes

El contexto geodinámico de Sudamérica se representa adecuadamente en la Figura 5. La velocidad de convergencias entre las placas de Nazca y Sudamericana frente a Chile varía entre 6.5 a 7 cm/año. Estas velocidades han sido determinadas con precisión geodésica mediante observaciones de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) en las islas ubicadas sobre la placa de Nazca y sitios estables en Sudamérica, principalmente en localidades cerca de la costa Atlántica en Argentina y Brasil. Dicha convergencia es responsable de la ocurrencia de los grandes terremotos de subducción en Chile. Hacia el sur de la placa de Nazca (Península de Taitao, donde se encuentra el punto triple), es la placa Antártica la que penetra bajo la placa

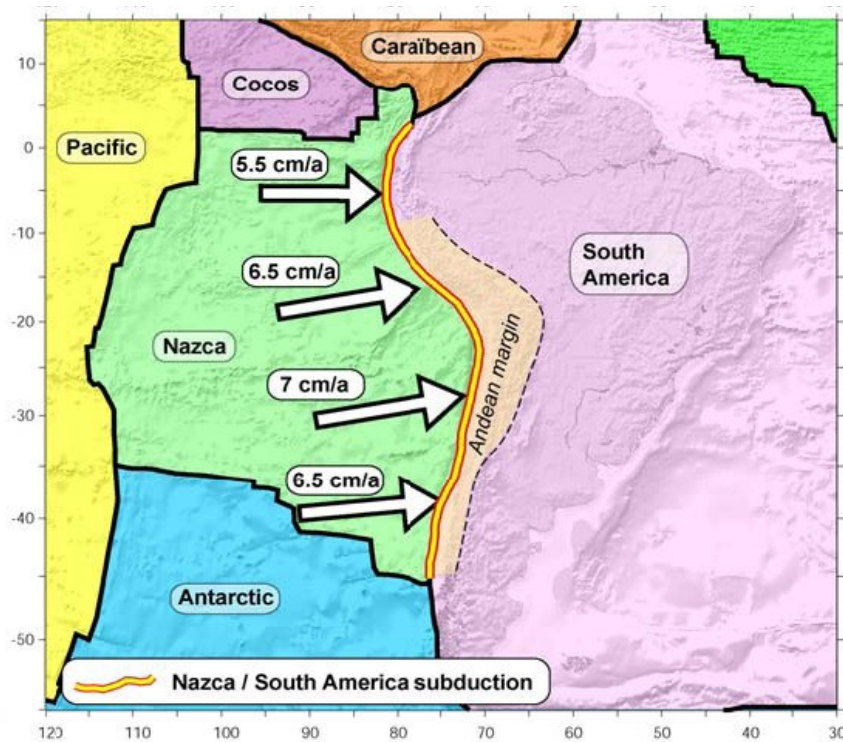


Fig. 5. Contexto tectónico Convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana (Vigny, 2003)

Si se mide la distancia entre alguna isla ubicada en la placa de Nazca, como Isla de Pascua, Isla Juan Fernández o Isla San Félix, en relación a un lugar en la zona estable del continente tal como Buenos Aires o algún lugar de Brasil, ésta disminuirá con el paso del tiempo a razón de la tasa de convergencia, es decir unos 6.5 a 7 cm cada año. Sin embargo, en la

región de contacto entre ambas placas (Nazca y Sudamérica) no existe desplazamiento relativo, ambas placas se encuentran trabadas (Fig.6). Como la convergencia sigue su curso, a una tasa regular y constante, las placas comienzan a deformarse elásticamente en las cercanías de la zona de contacto tal como lo muestra la Fig. 5.

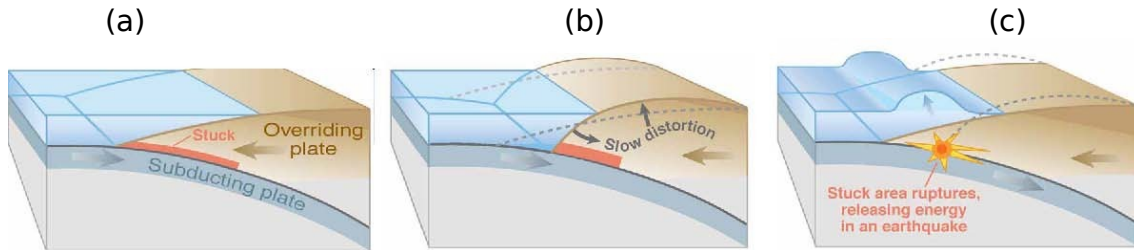


Fig. 6. Esquema que muestra la preparación y ruptura de la zona de contacto entre las placas de Nazca (subductante) y Sudamericana (cabalgante). En la zona de contacto, mostrada por la línea roja en las figuras (a) y (b), ambas placas no permiten el desplazamiento regular y permanente de manera que ambas placas se deforman, especialmente la cabalgante, dando origen a un sismo una vez que la energía elástica no puede seguir acumulándose.

La deformación elástica de ambas placas continúa acumulándose llega a su límite activándose la falla en el contacto y produciéndose el terremoto, lo que permite que finalmente la placa de Nazca penetre y la Sudamericana recupere parte de su posición previa al inicio del actual ciclo sísmico, es decir se mueva violentamente en un par de minutos hacia el Oeste con desplazamientos del orden de 10 m.

Deformación de la Corteza

Se han reportado desplazamientos verticales y horizontales de la costa y puntos de GPS (Global Positioning System) al interior del continente. Levantamientos de más de 2 m se han reportado para Punta Lavapié (Tassara, comunicación verbal), y 1.1 m de levantamiento inmediatamente al sur de Concepción (Bataille, comunicación verbal). Desde la perspectiva GPS, se ha publicado el siguiente mapa (http://www.unavco.org/research_science/science_highlights/2010/M8.8-Chile.html) con diferencia de posición de algunos puntos medidos con anterioridad y posterioridad al terremoto, principalmente aportado por el Proyecto CAP (un consorcio de instituciones y universidades liderado por M. Bevis, Universidad de Ohio).

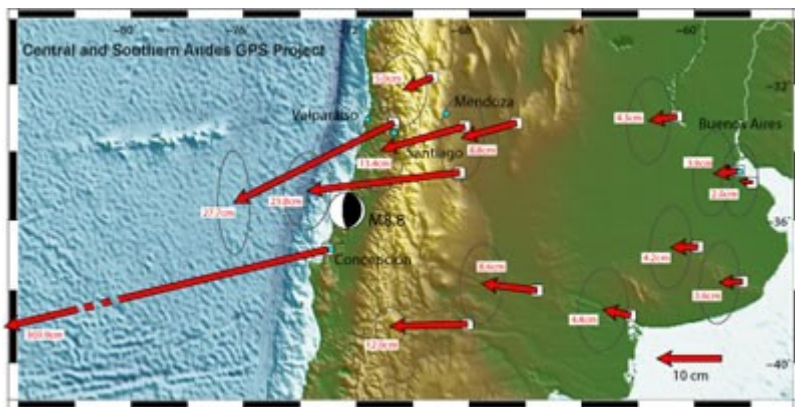


Fig. 7. Desplazamientos co-sísmicos observados como resultado de la activación de la falla en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana. El máximo desplazamiento horizontal en esta figura alcanza a 3.7 m en la ciudad de Concepción. C. Vigny (comunicación personal) reporta 4.7 m de desplazamiento horizontal en Constitución.

Desde la ocurrencia del terremoto y hasta el 9 de Marzo posterior, se han registrado alrededor de 50 cm de desplazamiento post-sísmico en la ciudad de Concepción, de acuerdo a la información publicada en la página

http://www.unavco.org/research_science/science_highlights/2010/M8.8-Chile.html

Todos estos desplazamientos, incluyendo el alzamiento de la costa, son generalmente consistentes con la ruptura a lo largo del contacto entre ambas placas.

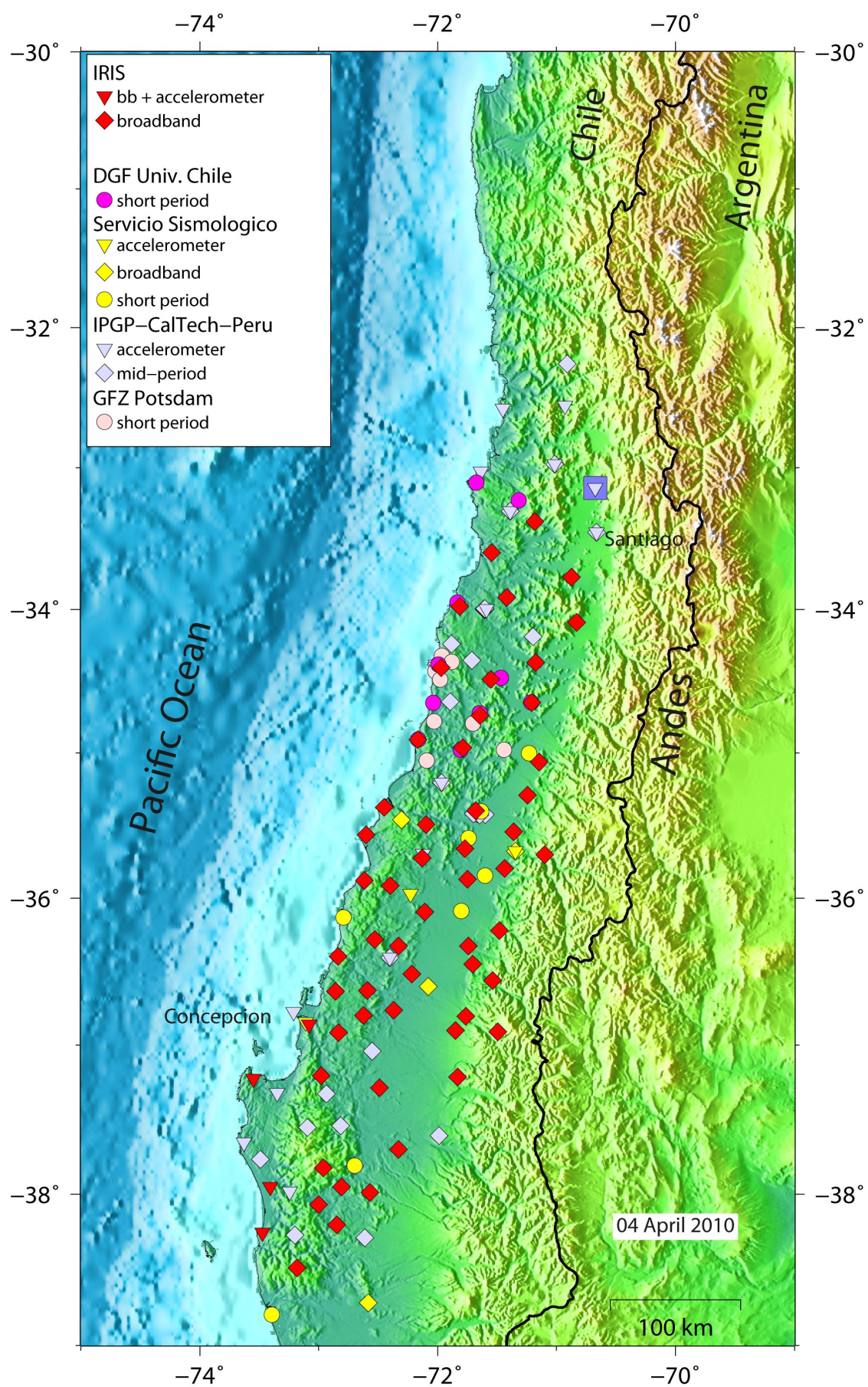
Estudios post-terremoto

El Servicio Sismológico conjuntamente con académicos del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile se encuentra desplegando una red de observación post-terremoto conjuntamente con varias instituciones internacionales: el GeoForschung Zentrum de Potsdam (GFZ), Alemania, el Instituto de Física del Globo de París (IPGP), la Escuela Normal Superior (ENS), Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), United States Geological Survey (USGS), California Institute of Technology, Liverpool University, Cambridge University y otros.

Este esfuerzo multinacional ha permitido establecer cerca de 140 estaciones sismológicas a lo largo de la zona de ruptura con el objeto de estudiar las réplicas que han ocurrido y seguirán ocurriendo en esta zona

Informe preparado por Sergio Barrientos

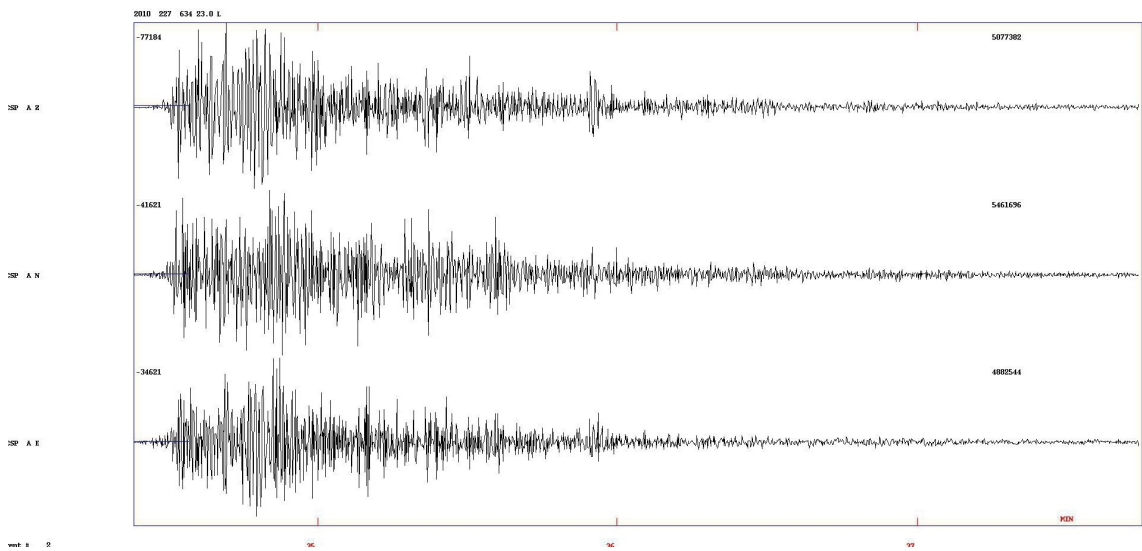
3 de Abril 2010



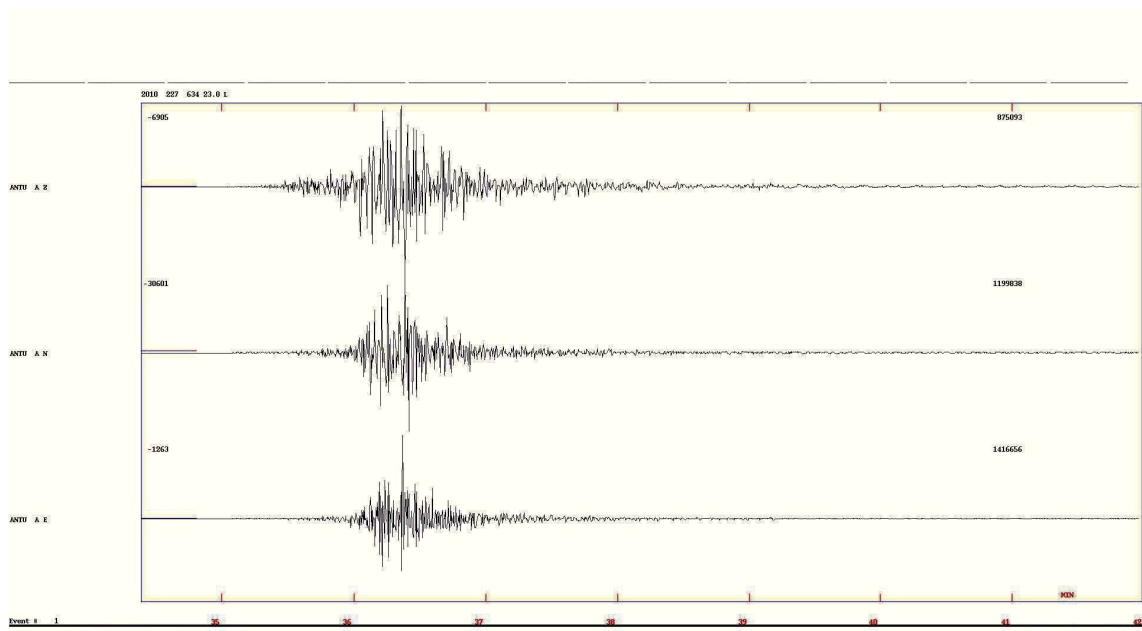
ANEXO I

Acelerogramas

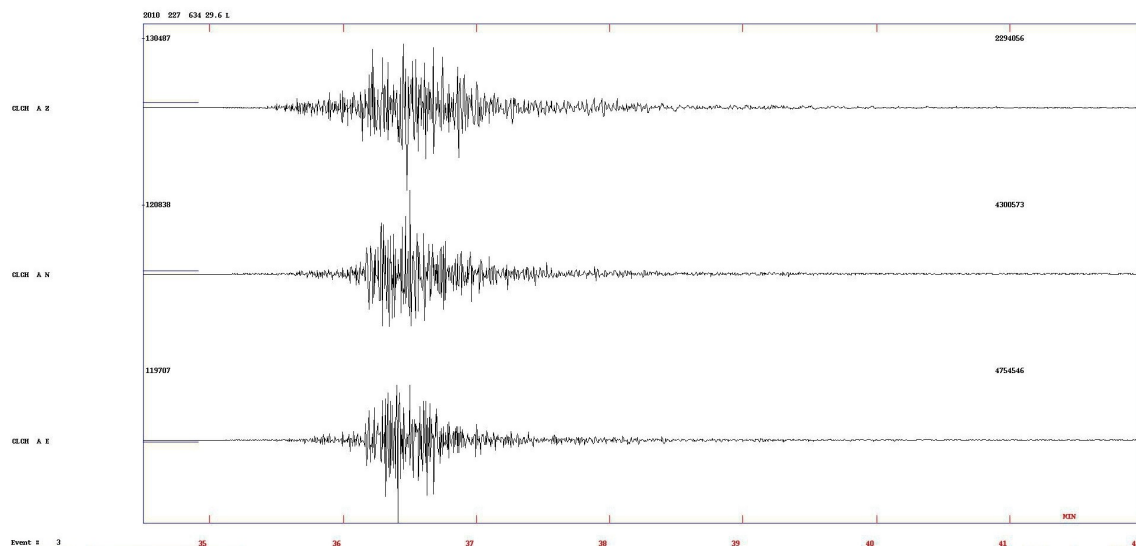
Estación Colegio San Pedro, Concepción.



Estación Campus Antumapu, Santiago



Estación Cerro Calán, Santiago



Estación Cerro El Roble, Til Til.

