



SANTIAGO RESILIENTE
GESTIÓN DE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Riesgo Sísmico en la RM de Santiago

*A 15 años de los nuevos antecedentes sobre la amenaza sísmica en la RMS:
La urgencia de construir el mapa de “Orden Cero”*

¿Quo Vadis?

Jaime CAMPOS M.
Director CITRID / PRS
Departamento de Geofísica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

¿Quiénes somos ?

Universidad de Chile:



Programa de Reducción de Riesgos y Desastres

Reúne a académicos de distintas facultades en torno a un enfoque interdisciplinario para abordar la gestión de los desastres sicionaturales.

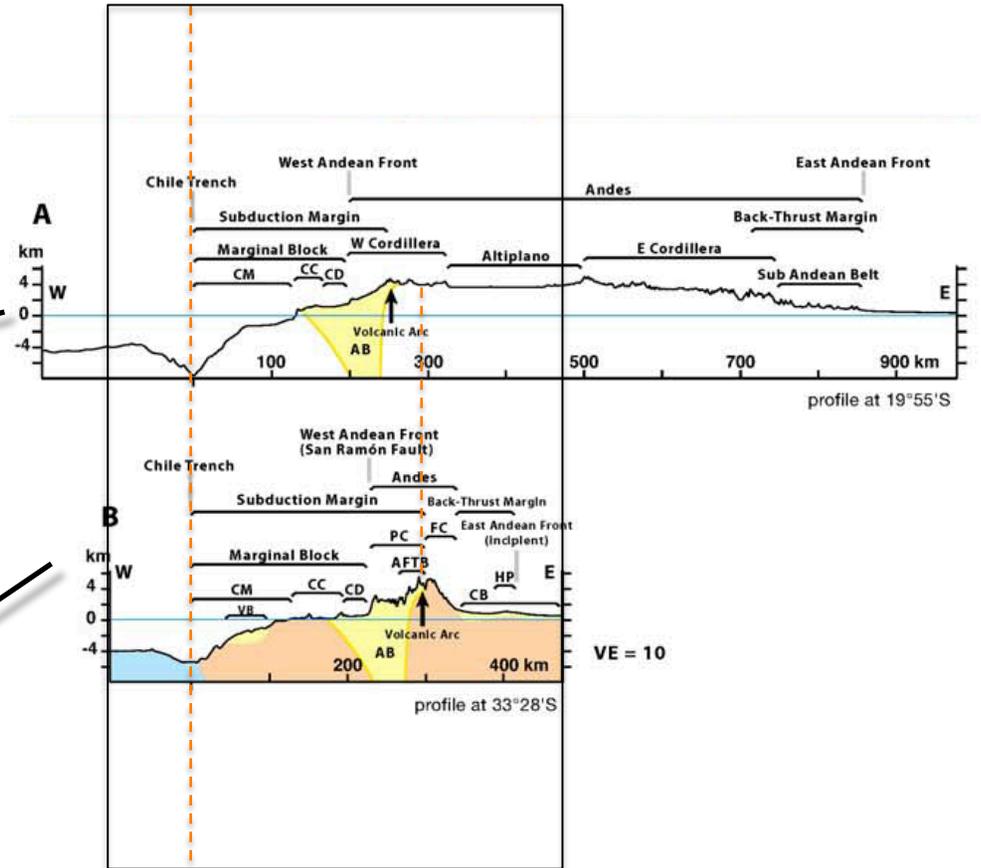
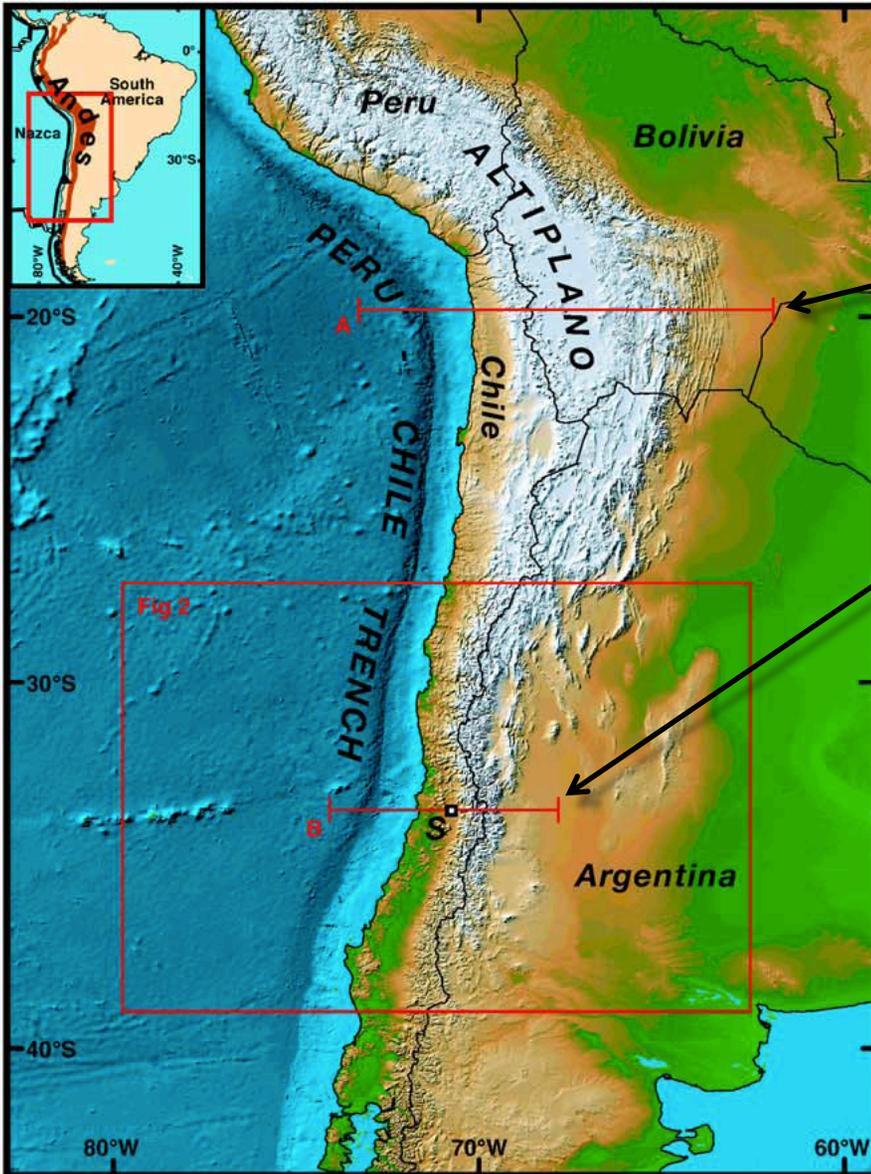


Programa de Riesgos Sísmico

Actividad de Interés Nacional (AIN) que reúne a investigadores en sismología para orientar sus estudios hacia la transferencia tecnológica y de conocimientos, desde la academia a la sociedad.



Contexto Geodinámico Andino → Contexto Sismotectónico Andino



(Armijo et al., 2010)

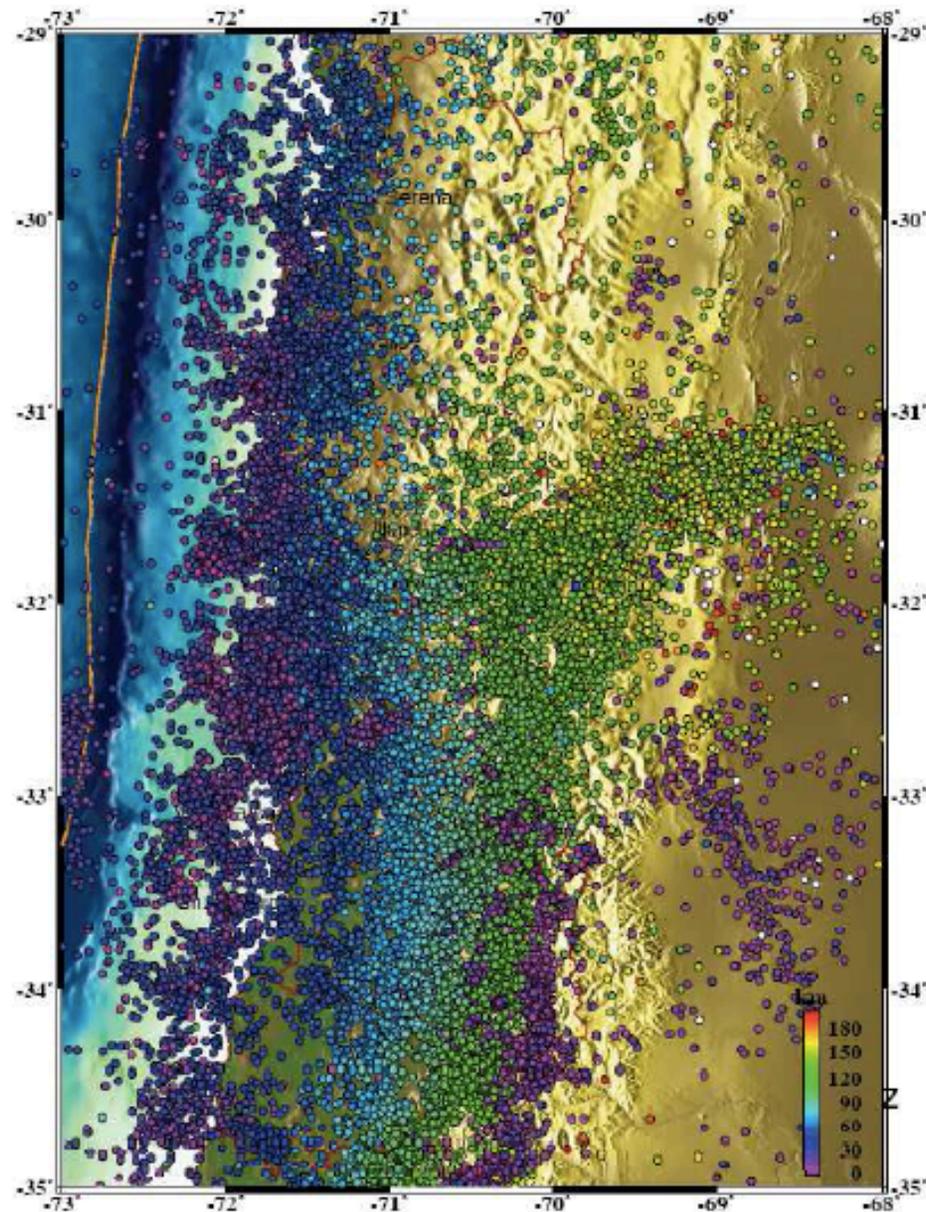
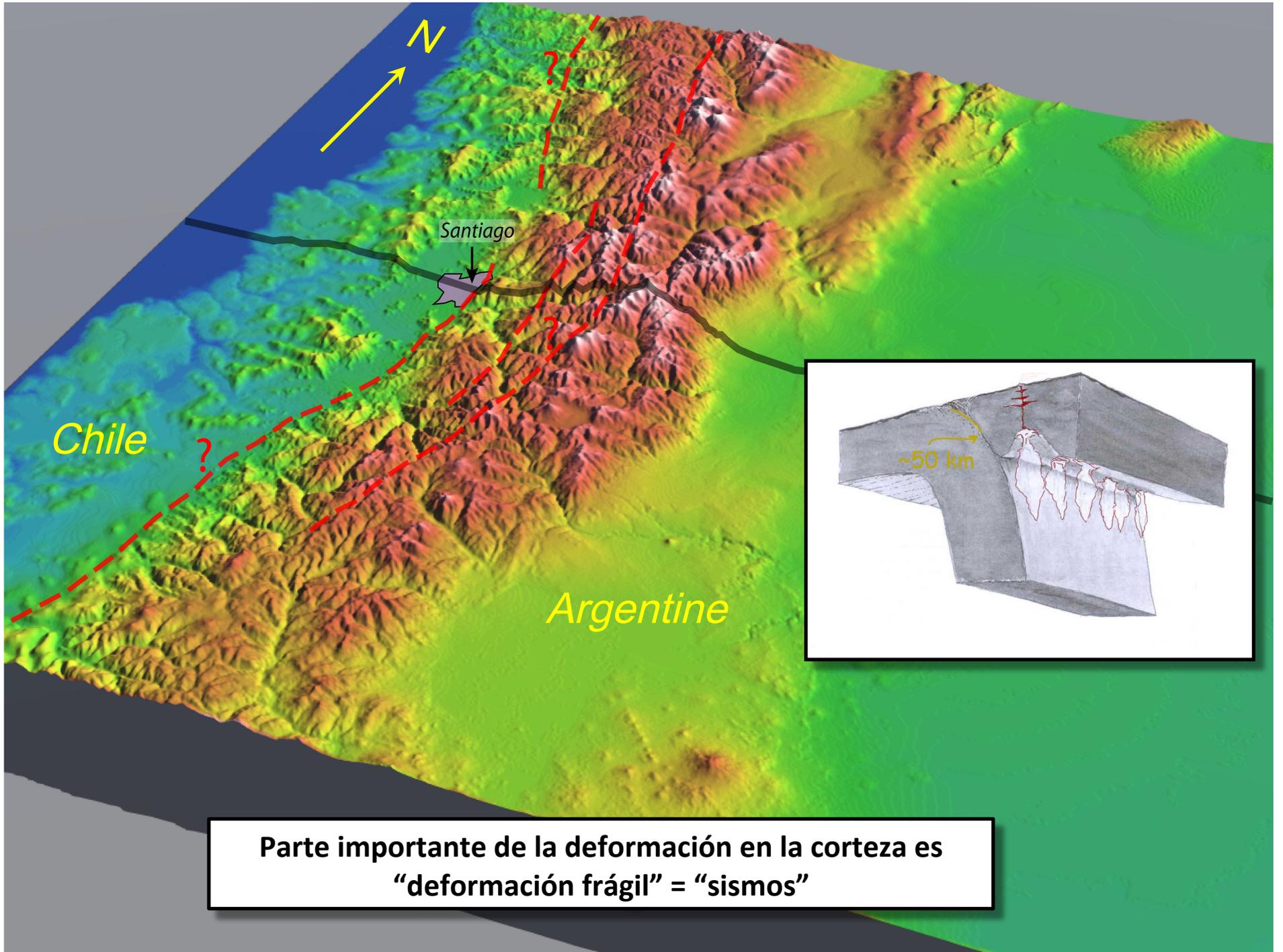


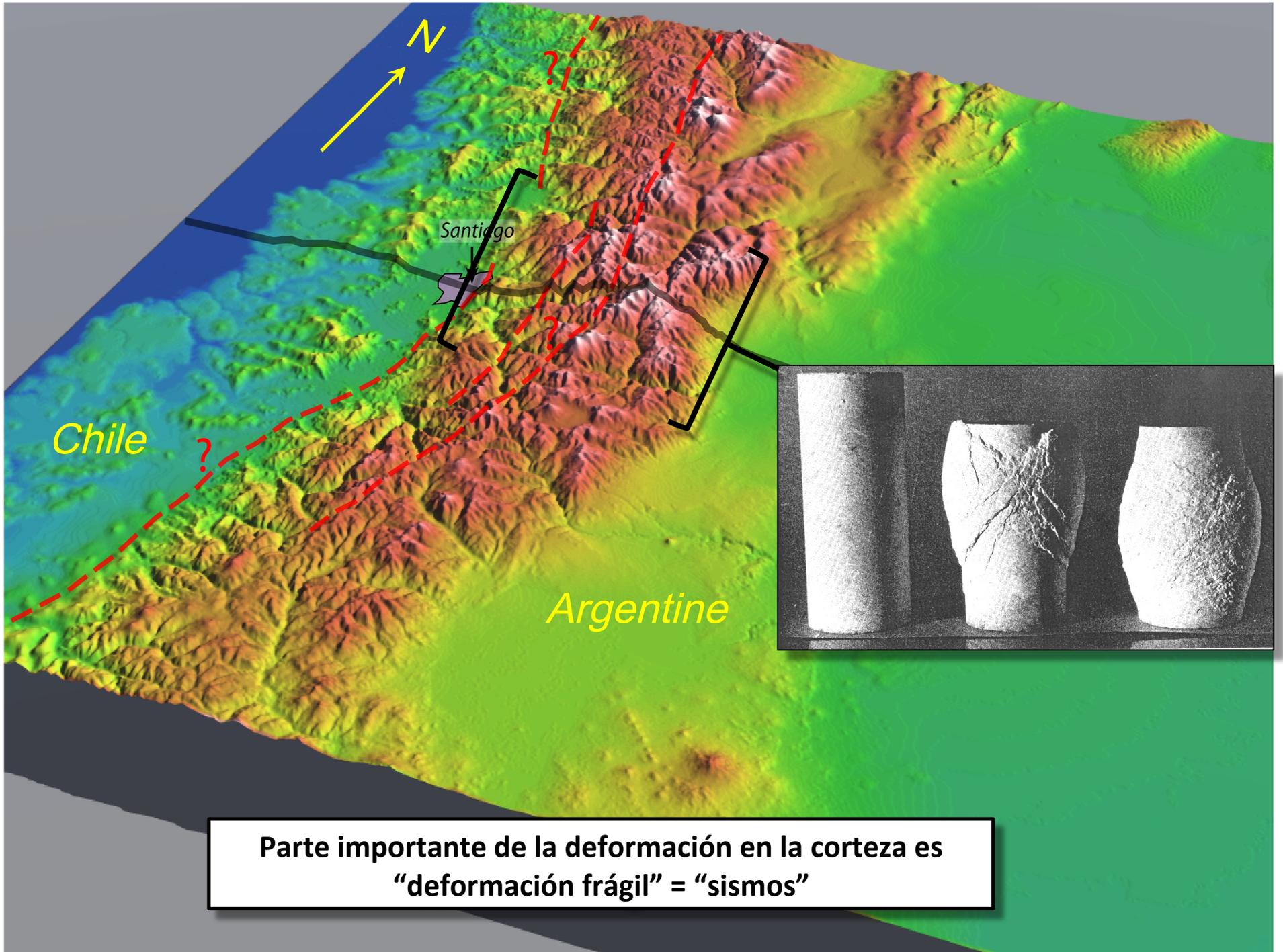
Figura 5.1.4.

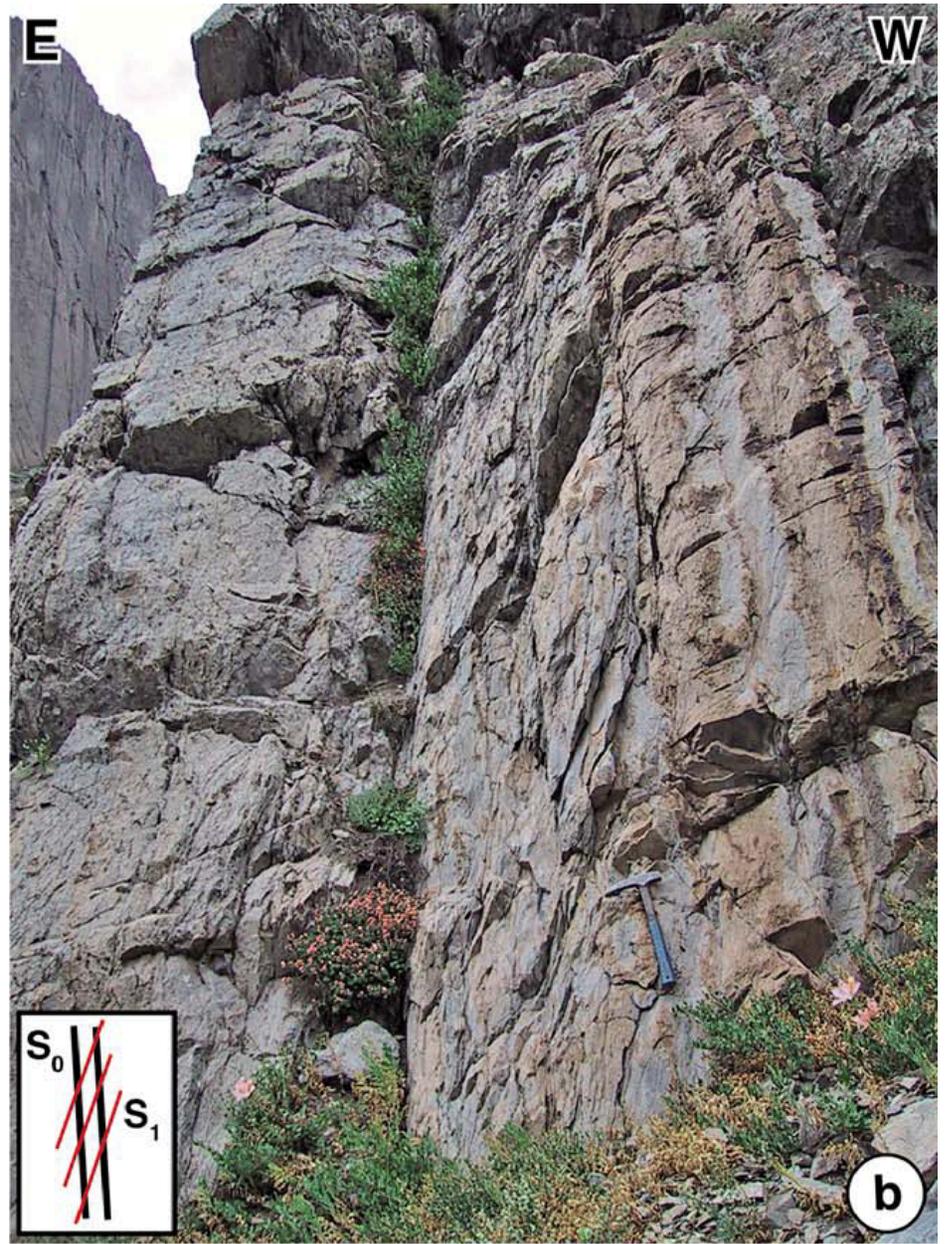
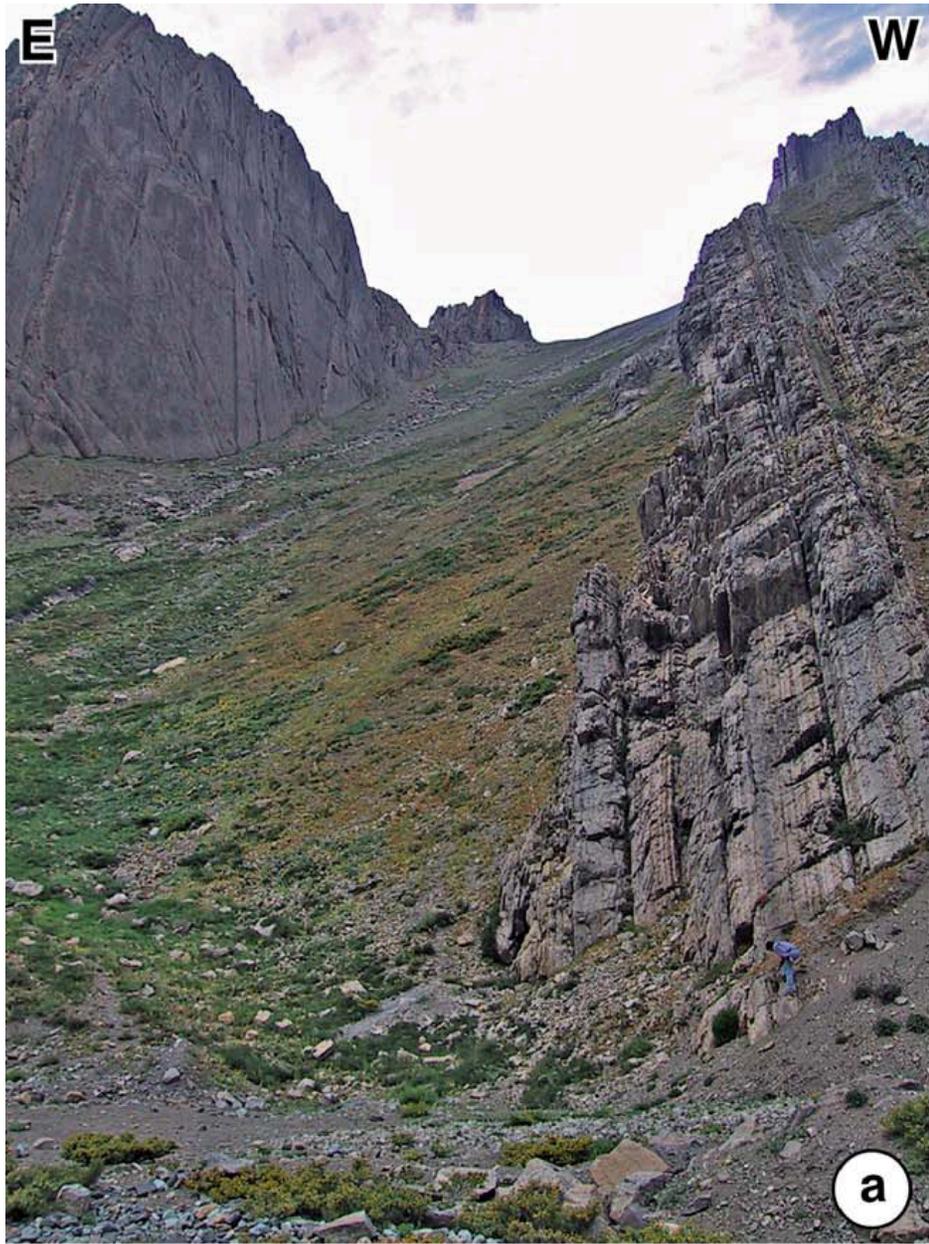
Sismicidad regional registrada por el SSN entre 2000-2011. Frente a la costa, en morado y azul se muestra la sismicidad asociada a eventos tipo *thrust* originados en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamérica, en azul y verde se muestran los sismos intraplaca de profundidad intermedia originados en la placa subductante, en morado se observa la sismicidad cortical superficial.

(Campos et al. 2005)



Parte importante de la deformación en la corteza es
"deformación frágil" = "sismos"





Identificación de fallas activas y cuantificación de la deformación dúctil y frágil (sísmica) en el territorio, tareas esenciales para construir Mapas de Peligro Sísmico

Fundamental identificar las fallas activas (geólogo) y medir la deformación dúctil (geodesia) y frágil (redes sismológicas)





EL ASNAM, Algérie, 1980, M:7,3

EL ASNAM, Algérie, 1980, M:7,3

1 - 3 metros



CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



FALLAS TECTÓNICAS ACTIVAS

TERREMOTO en la Corteza terrestre
corresponde a la activación de una Falla
Tectónica

Es una dislocación o ruptura en la corteza
Se produce en pocos segundos (libera energía
sísmica acumulada durante centenas de años).

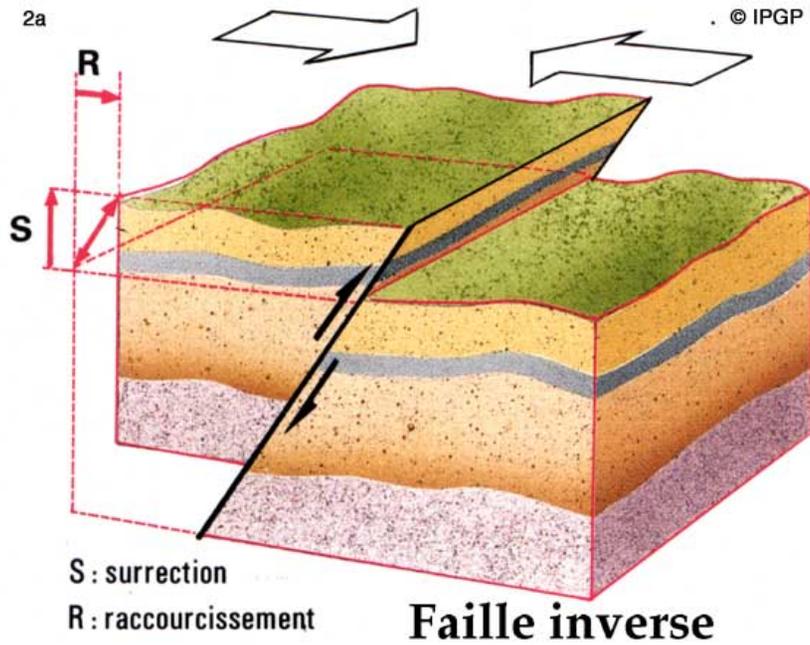


UNIVERSIDAD DE CHILE

FALLAS GEOLÓGICAS

Falla Inversa

Figure 4.2-1: Fault scarp near Crowley Lake, California.



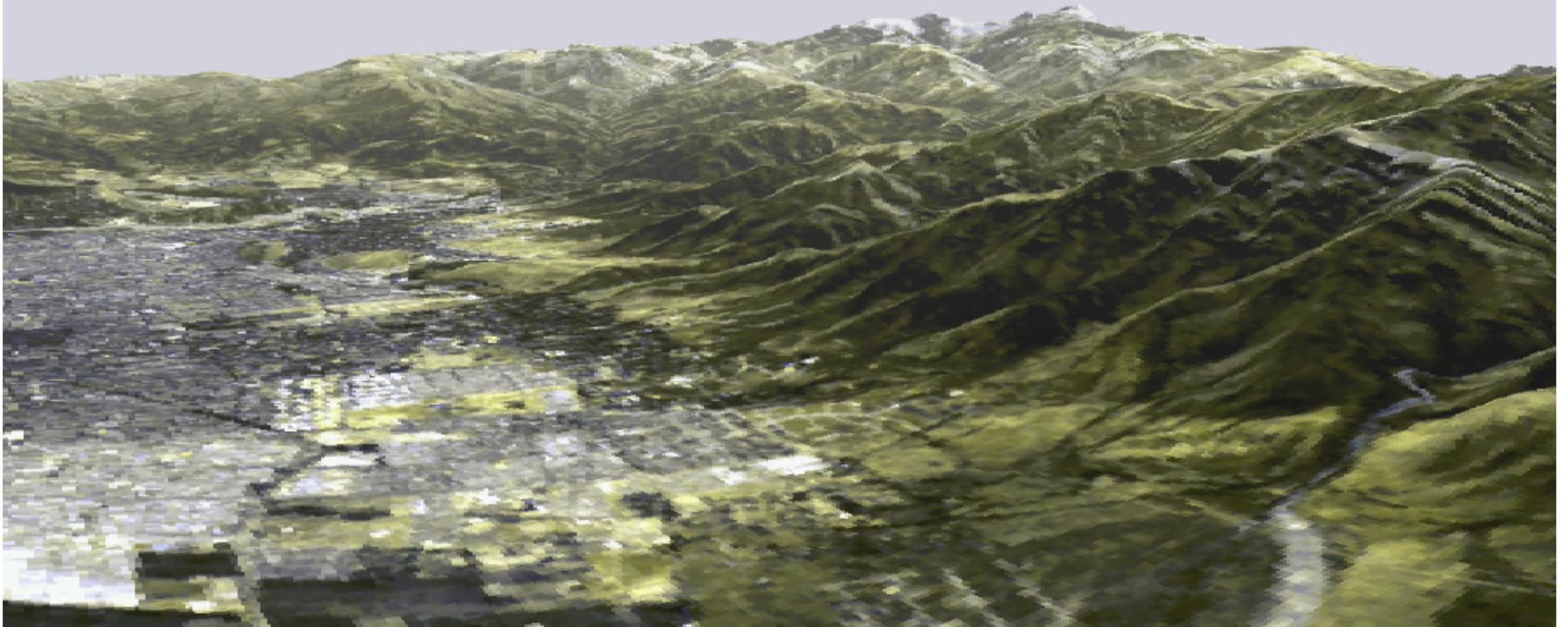
NUEVOS ANTECEDENTES PARA IDENTIFICAR AMENAZA SÍSMICA

Estudio de en términos neotectónicos del borde precordillerano de Santiago

Memoria Geólogo U. de Chile, R. Rauld, 2002;

Tesis Doctoral U. de Chile, R. Rauld (2010);

Artículos científicos: *Armijo et al., 2010, A. Pérez et al., 2013; etc.*





UNIVERSIDAD DE CHILE

AVANCES CIENTÍFICOS OBTENIDOS DESDE 1998 EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

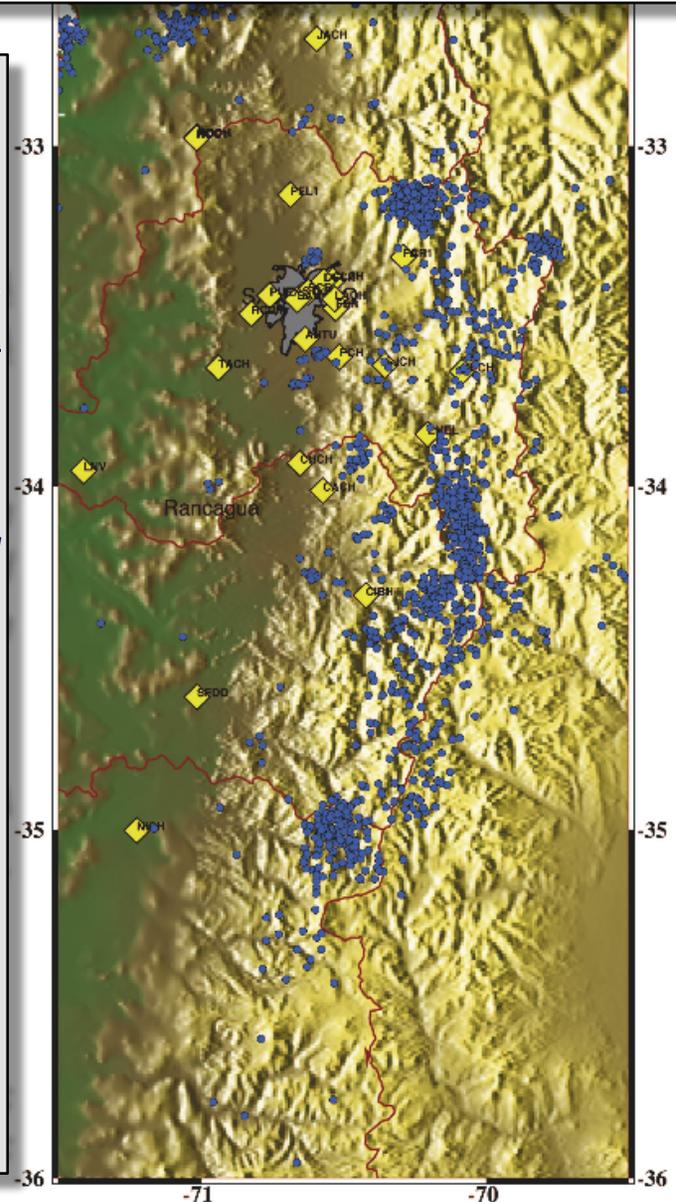
ALIANZA GOBIERNO RMS – UNIVERSIDAD DE CHILE (FNDR 1998)

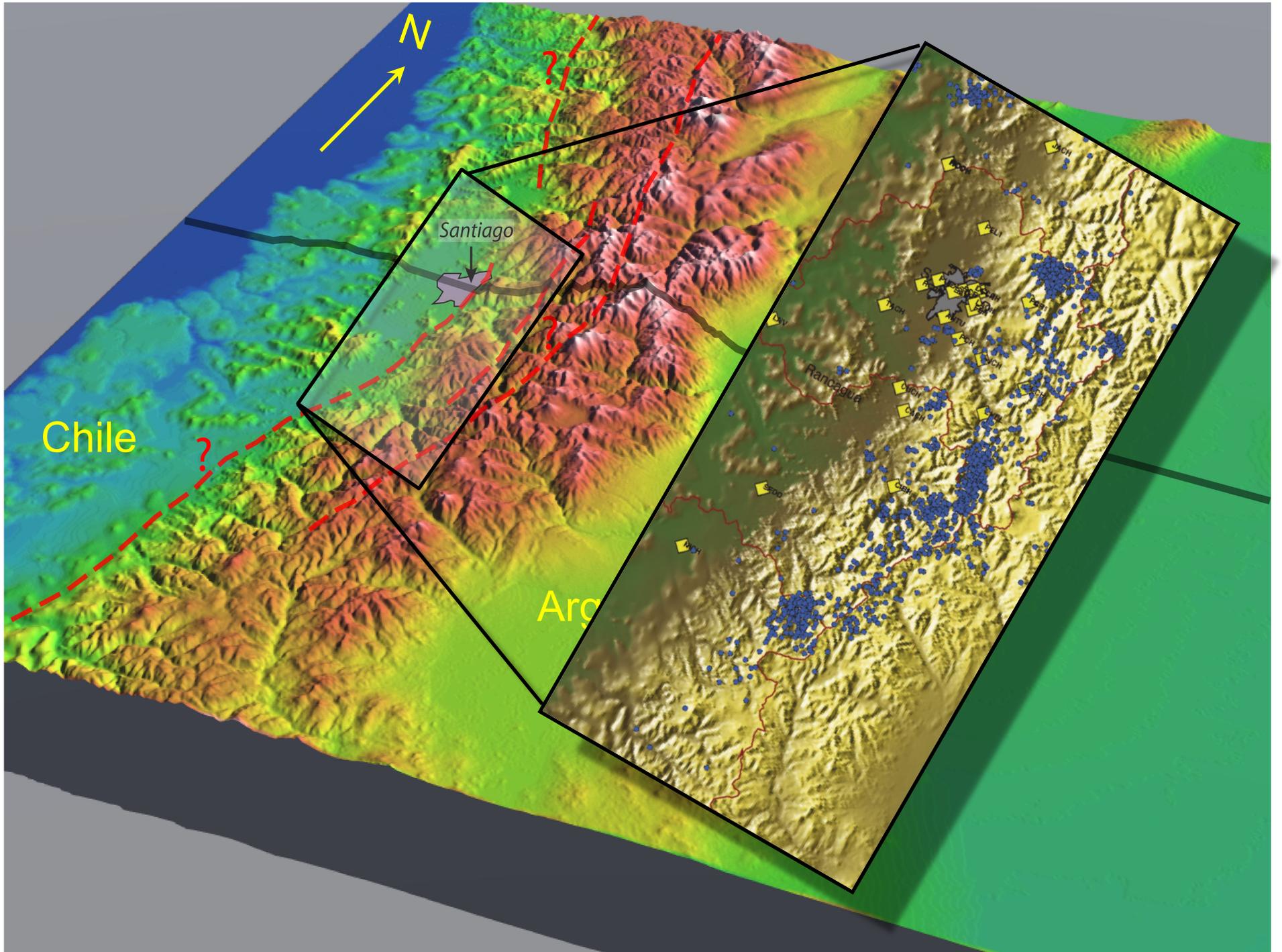
1998 – 2002: SE LOGRÓ PONER EN EVIDENCIA LA EXISTENCIA DE FALLAS ACTIVAS EN ZONA CORDILLERANA CERCA DE SANTIAGO.

Red Sismológica Regional (local): La mejoras en la sensibilidad y calidad en la detección de la sismicidad aportaron nuevos antecedentes sobre la amenaza sísmica en la Región Metropolitana de Santiago (FNDR).

Participación: LIA (UdeChile – CNRS Francia; IRSN-CEA Francia; Núcleos Milenio ICM-M. Economía; FCFM – SSN, DGF, DGL, DIC).

Figura: Estaciones sismológicas con rombos amarillos; epicentros de eventos sísmicos con puntos azules;







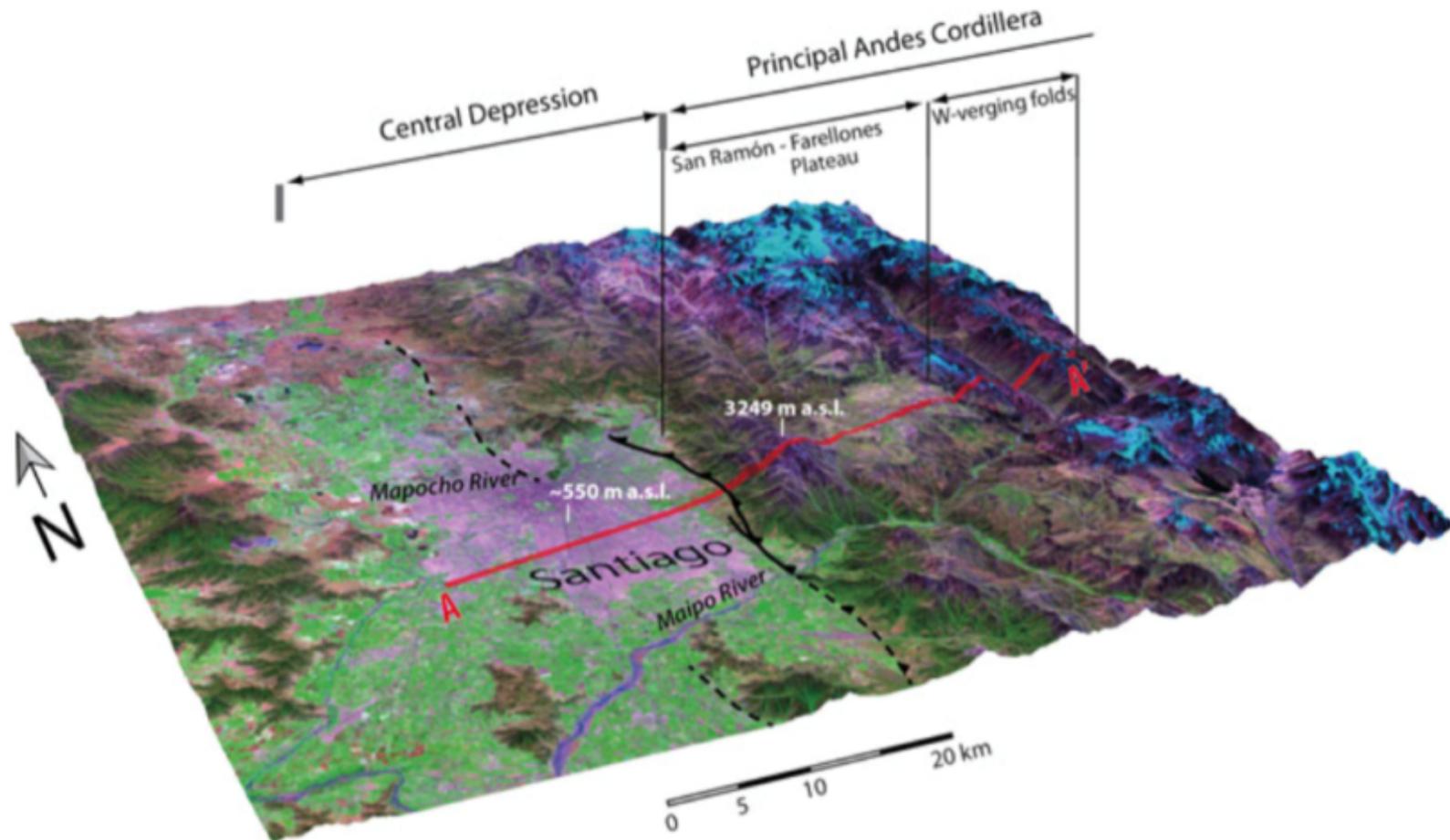
Contexto de la subducción andina y sismicidad regional

Sismos superficiales (corticales) en la zona central de Chile:

- **4 de septiembre de 1958:** terremoto de Las Melosas correspondió a una fuente compleja superficial, asociada a fallas activas de la zona cordillerana, que resultó en una secuencia de tres sismos de magnitud 6.9, 6.7 y 6.8 respectivamente.
- **28 de agosto de 2004:** Sismo superficial de Curicó, de magnitud 6.4.



Características de la Falla de San Ramón



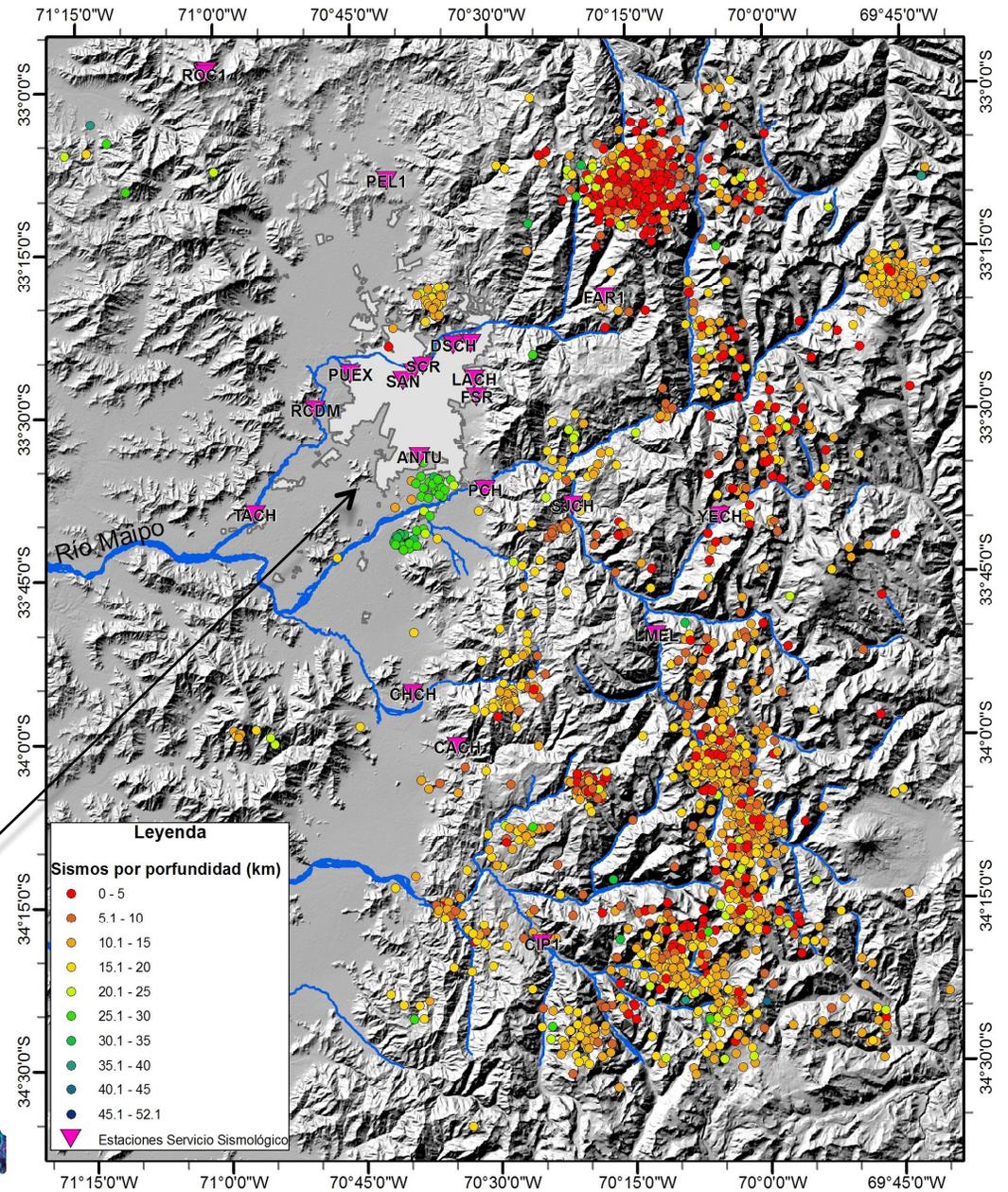
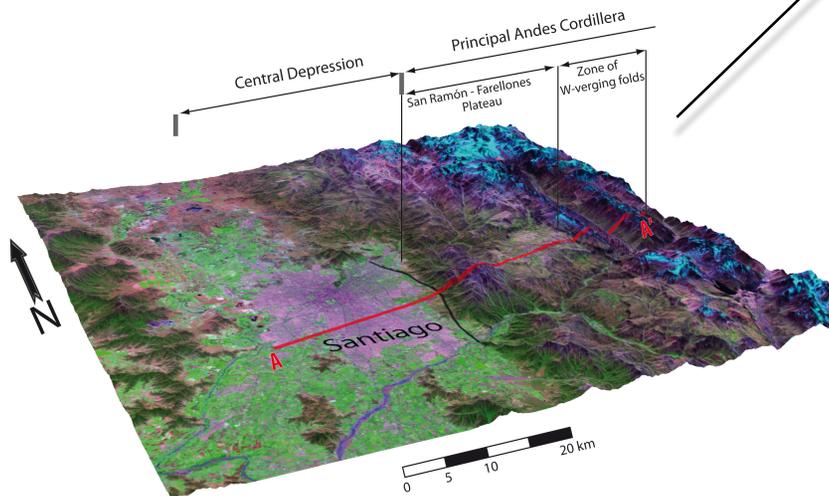
Vista de la región Metropolitana de Santiago y traza de la FSR (Armijo et al., 2010)



UNIVERSIDAD DE CHILE

Publicaciones de nuevos antecedentes sobre la Amenaza Sísmica en la Región Metropolitana

(R. Rauld, 2002; 2010; Armijo et al., 2010; Perez et al., 2013)



(Sismicidad y profundidad focal en colores según escala)

(Perez, et al., 2013)



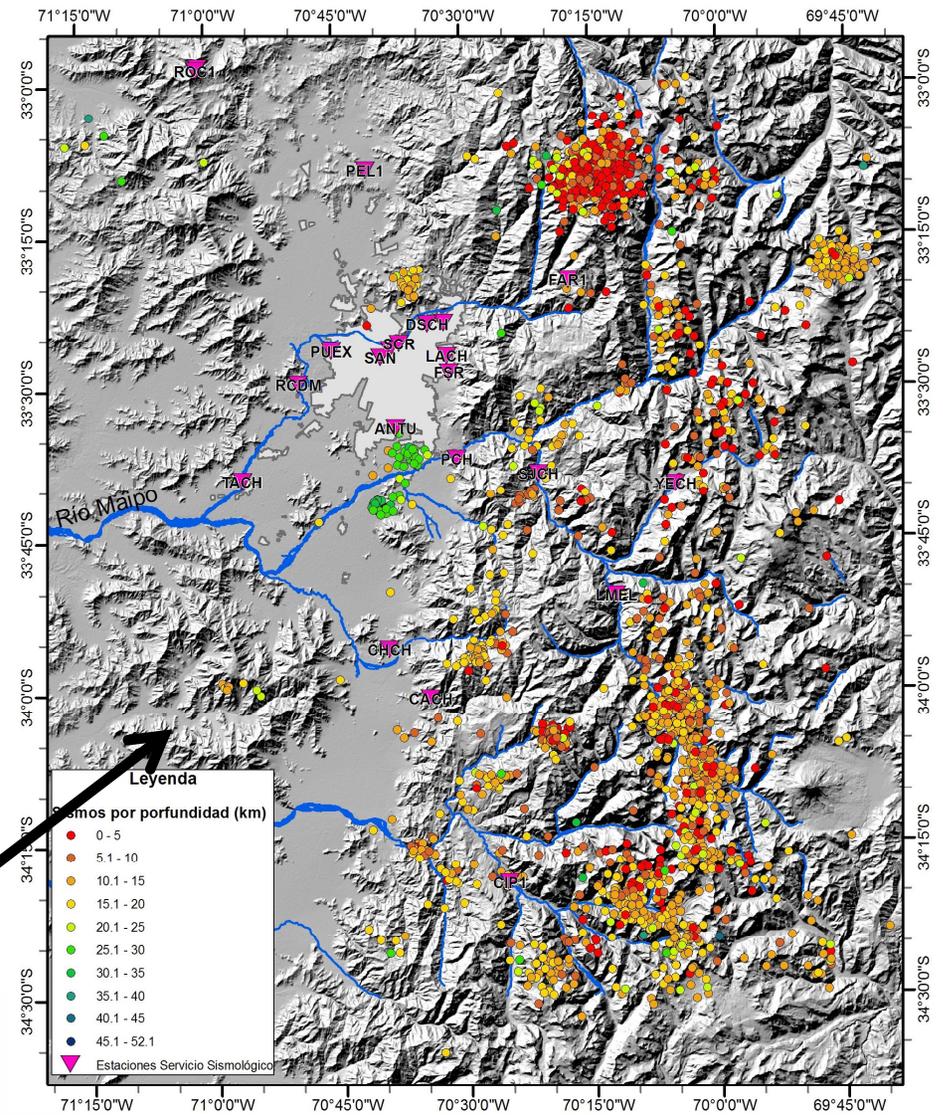
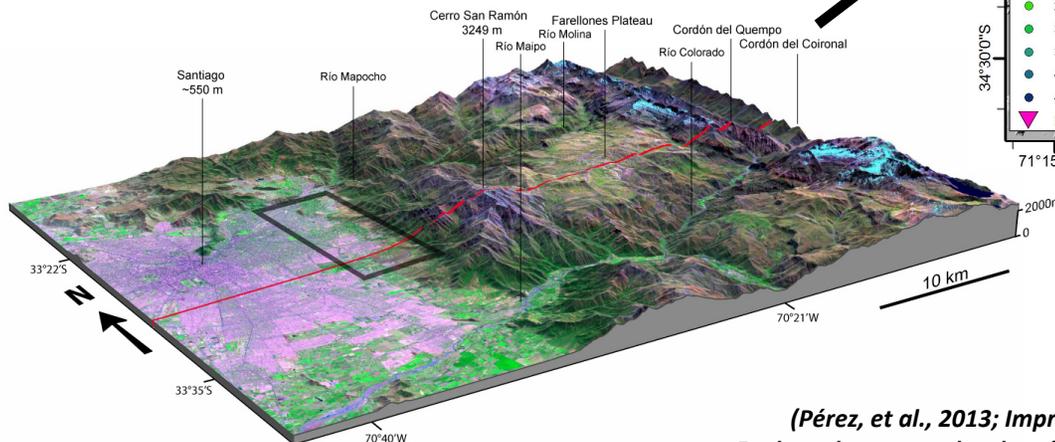
UNIVERSIDAD DE CHILE

Región Metropolitana de Santiago

Sismicidad 1998-2008.

(en este periodo se incrementó número de estaciones sismológicas en Chile Central. El dispositivo de vigilancia sísmica mejoró su nivel de detección).

- Se observó sismicidad superficial cerca de Stgo.
- Se identificó sismicidad asociada al “sistema Falla San Ramón”.
- Se confirmó que es una Falla Sísmicamente Activa (Perez et al., 2013)
- Cambia completamente la evaluación de la amenaza sísmica para la RM.(Armijo et al., 2010; Perez et al., 2013)

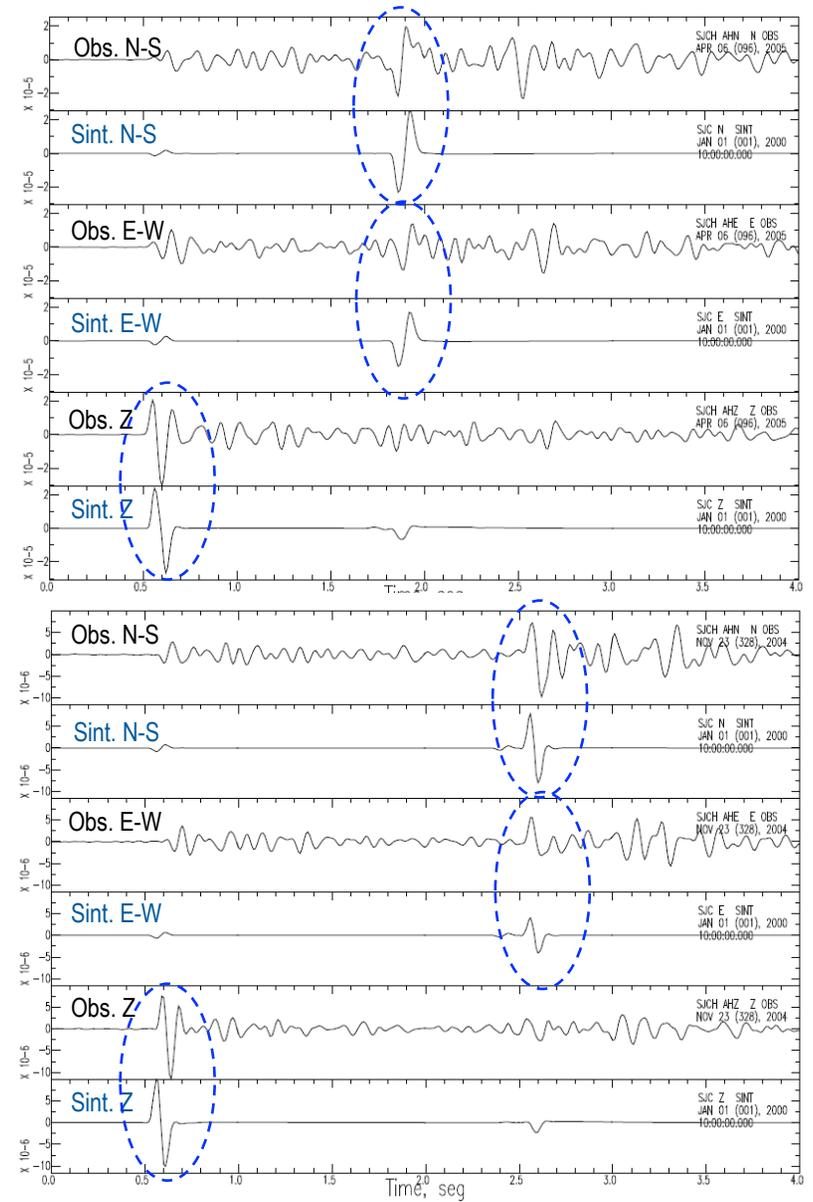
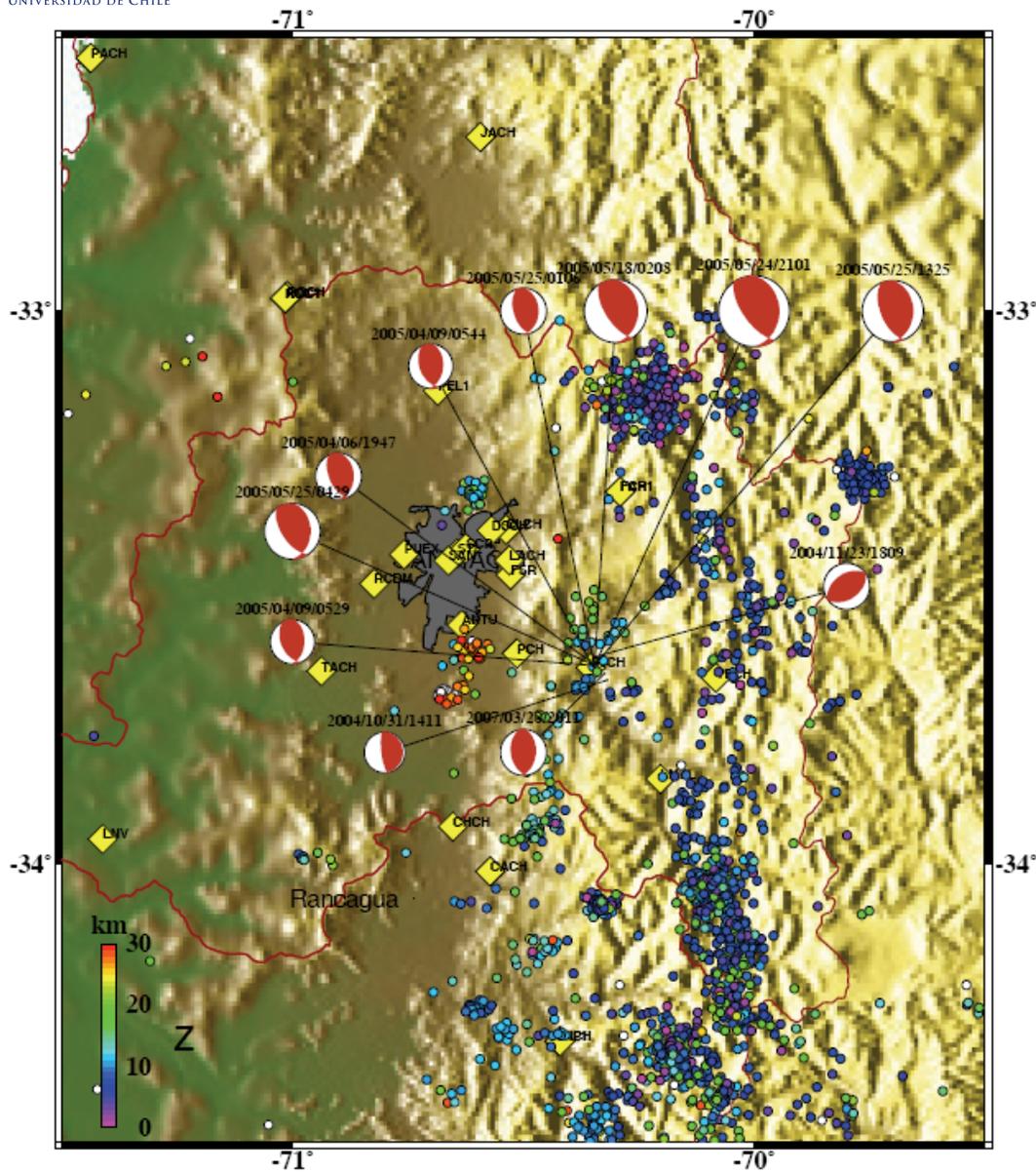


(Pérez, et al., 2013; Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramón Fault at the eastern border of Santiago city; Chile; NATURAL HAZARDS, DOI 10.1007/s11069-013-0908-3)



UNIVERSIDAD DE CHILE

Focal mechanisms determined by wave form modelling



(Perez, et al., 2013)

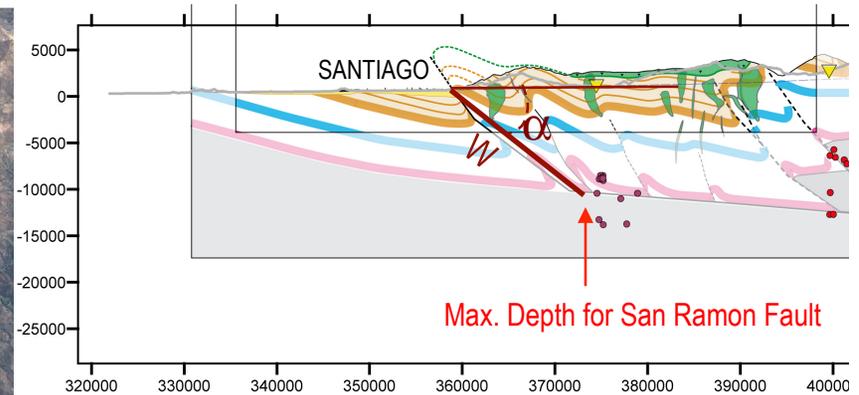
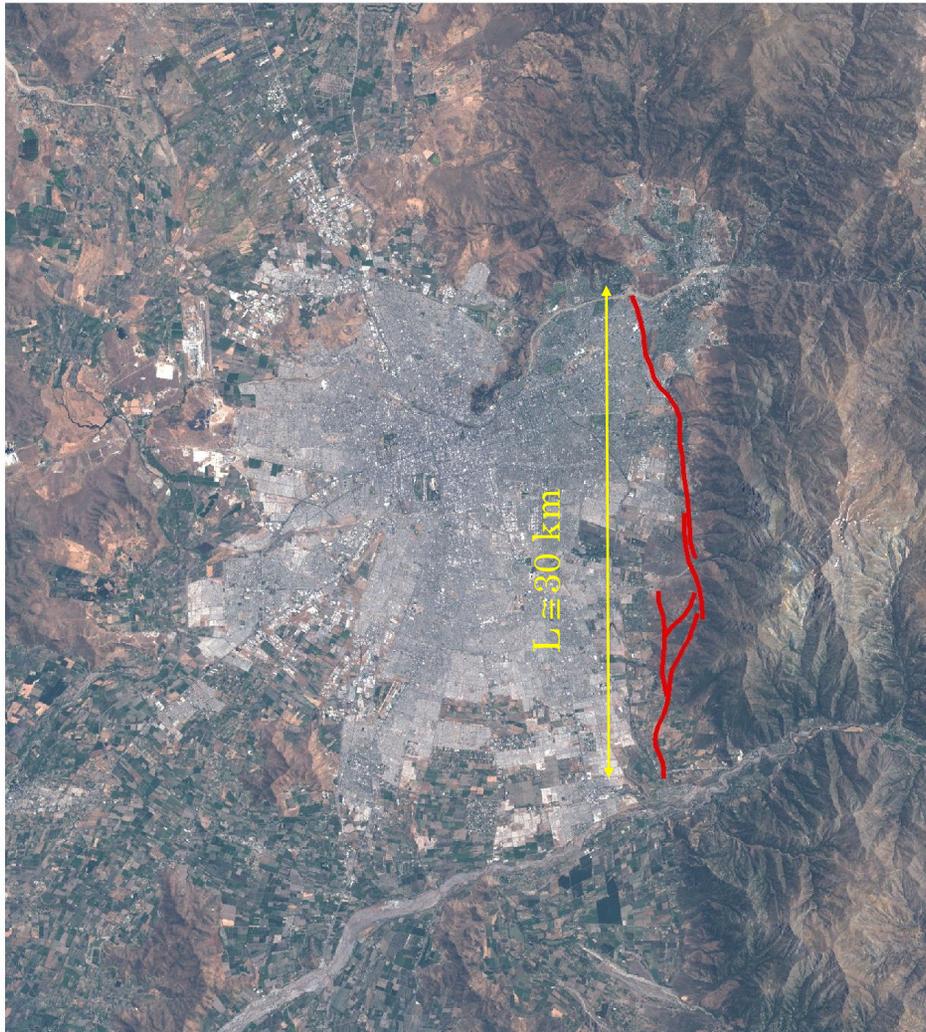


UNIVERSIDAD DE CHILE

San Ramón Fault System in Santiago - Chile

Seismic Hazard in Santiago, Chile changes drastically

(Ph.D. Students : R. Rauld; A. Pérez)



$$L \approx 30 \text{ km}$$

$$\delta \approx 38^\circ$$

$$W \approx 18 \text{ km}$$

$$M_0 = \mu A \Delta u$$

$$\Delta u \approx (10^{-4} \text{ a } 10^{-5}) \times L ; \mu \approx 3 \times 10^{10} \text{ Nm}$$

Ley de escala entre Largo y desplazamiento co-sísmico de la falla

$$6.6 < M_{w_{\max}} < 7.4$$

Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramón Fault at the eastern border of Santiago city, Chile

A. Pérez, J. A. Ruiz, G. Vargas, R. Rauld, S. Rebolledo & J. Campos

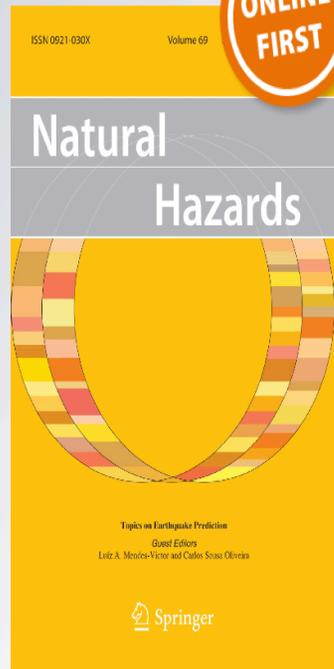
(2013)

ONLINE FIRST

Natural Hazards
Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards

ISSN 0921-030X

Nat Hazards
DOI 10.1007/s11069-013-0908-3



 Springer

Nat Hazards
DOI 10.1007/s11069-013-0908-3

ORIGINAL PAPER

Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramón Fault at the eastern border of Santiago city, Chile

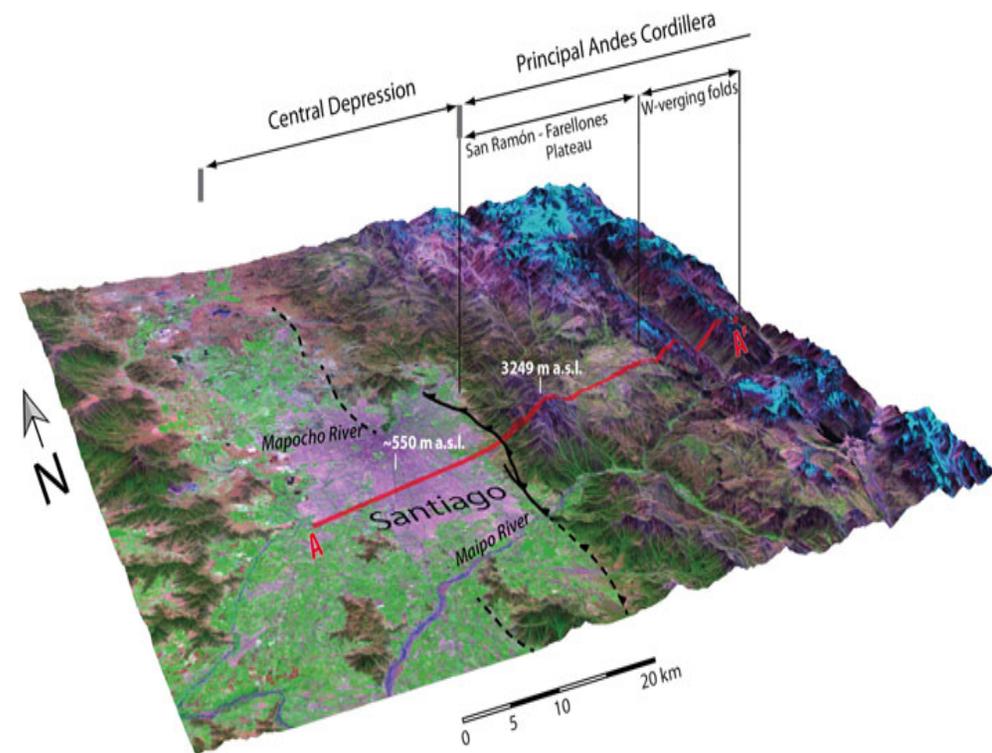


Fig. 1 South-west bird's eye view of the Santiago Metropolitan area highlighting the San Ramón Fault and the major geological features of the Principal Andes Cordillera, according to Armijo et al. (2010). *Black solid line* represents the mapped fault trace, and *black dashed line* is the inferred fault trace. The *red line A-A'* delimits the length of the vertical cross-section shown latter



UNIVERSIDAD DE CHILE

Turquía, ciudad Izmit, 1999

Traza de la falla (terremoto)



Colombia, 1999





The village of Amatrice was devastated by the 24 August 2016 M6.2 earthquake that hit central Italy. More than 290 people was killed

Sismicidad en Chile, periodo: 2000 - 2017

(Magnitudes $M > 4.0$; SSN - CSN, U. de Chile)

Tarapacá
2005 (M7.8)

Tocopilla
2007 (M7.7)

Valparaíso
2001 (M7.0)

Illapel
2015 (M8.4)

Maule
2010 (M8.8)

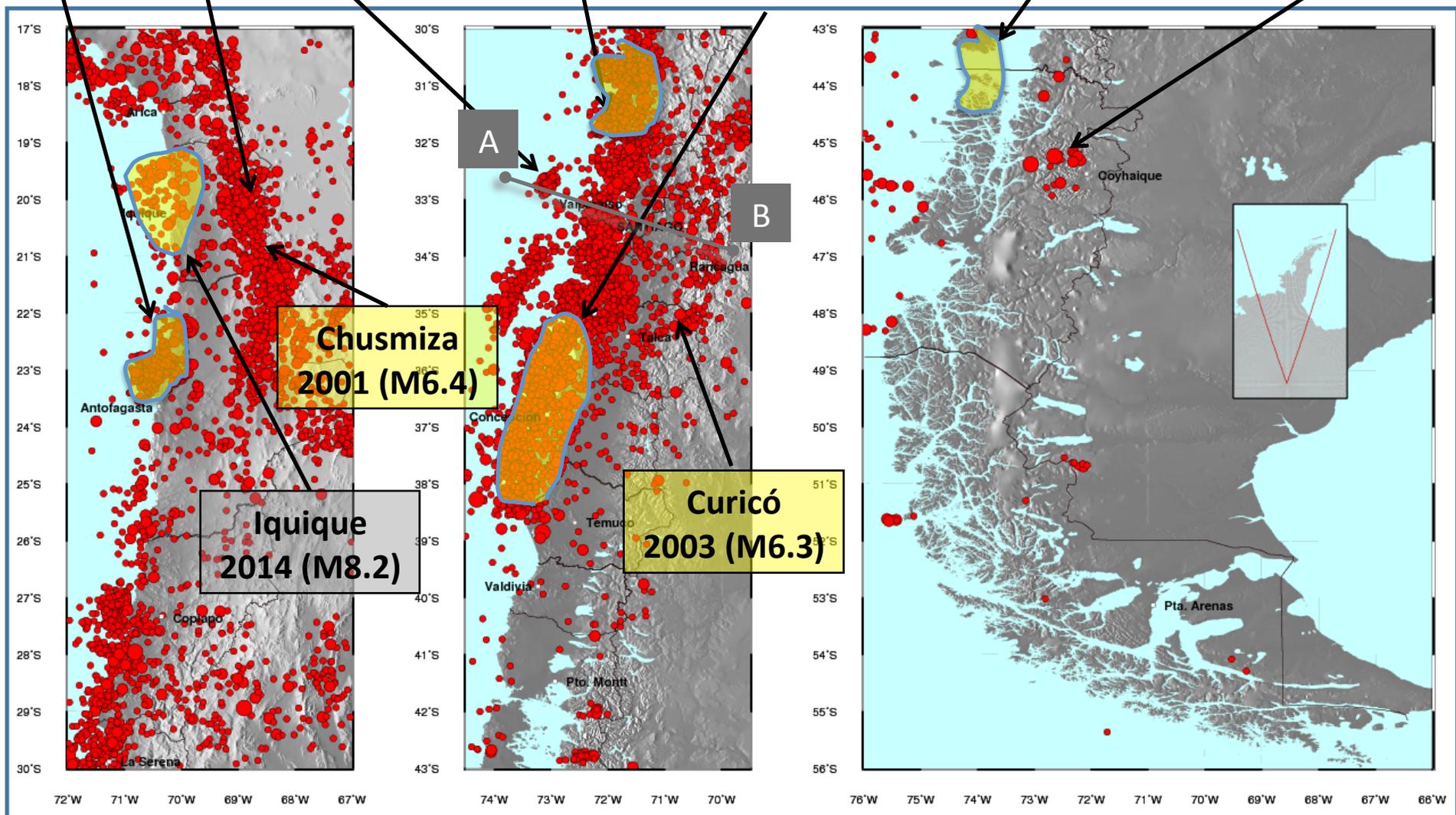
Chiloé 2017
(M7.8)

Aysén
2007 (M6.2)

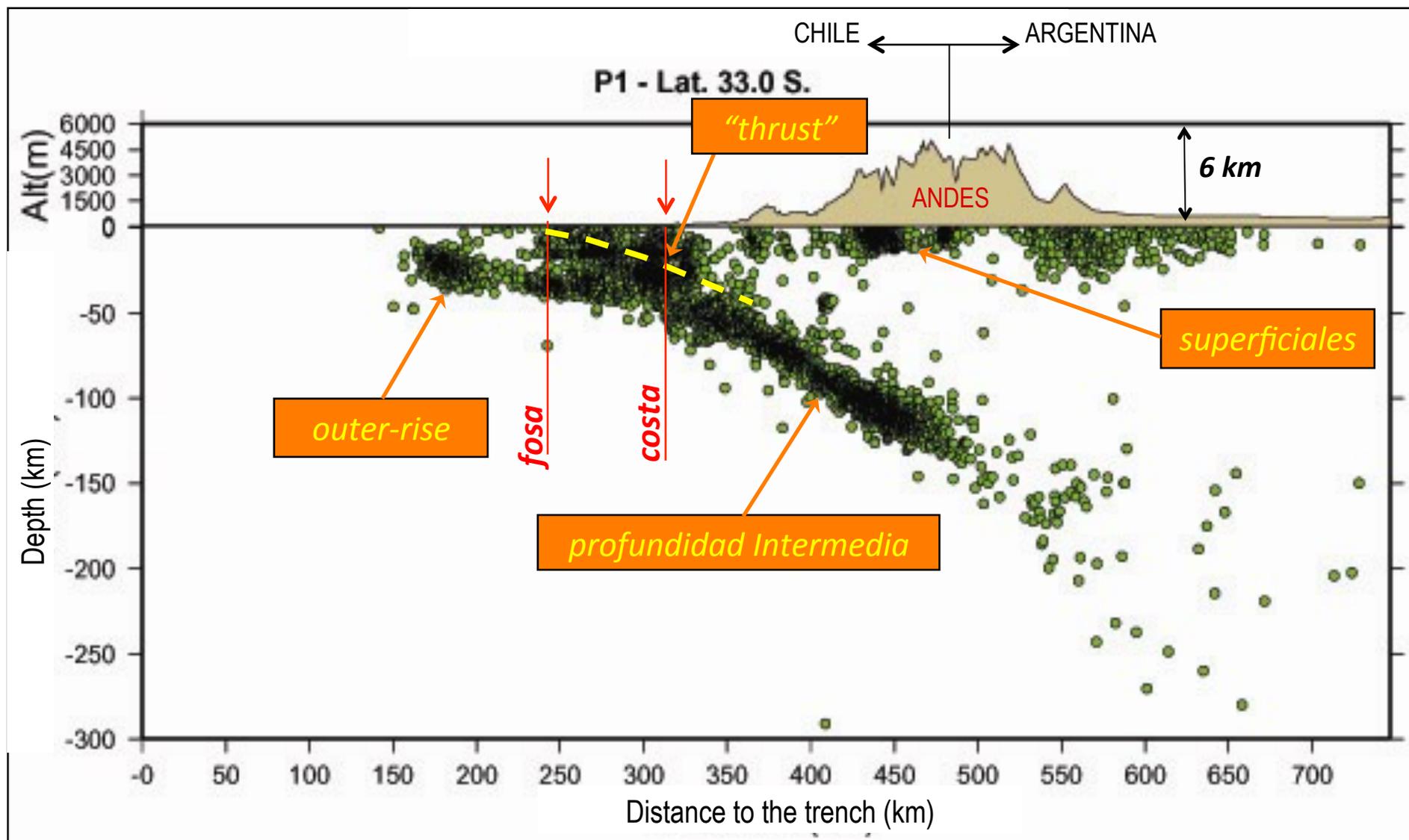
Chusmiza
2001 (M6.4)

Iquique
2014 (M8.2)

Curicó
2003 (M6.3)



Contexto de la subducción andina y sismicidad regional





UNIVERSIDAD DE CHILE

Sismos de Profundidad Intermedia en Santiago

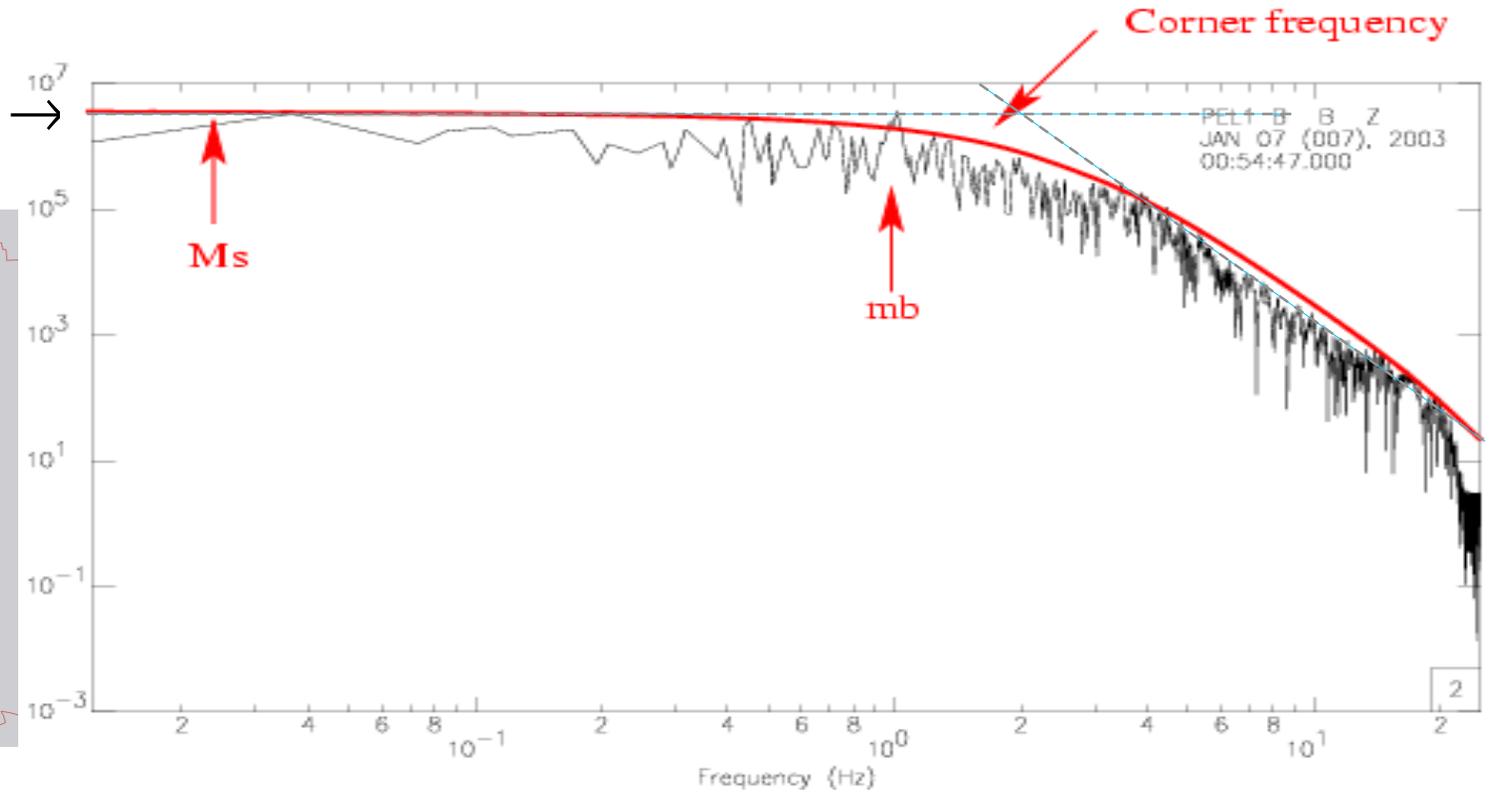
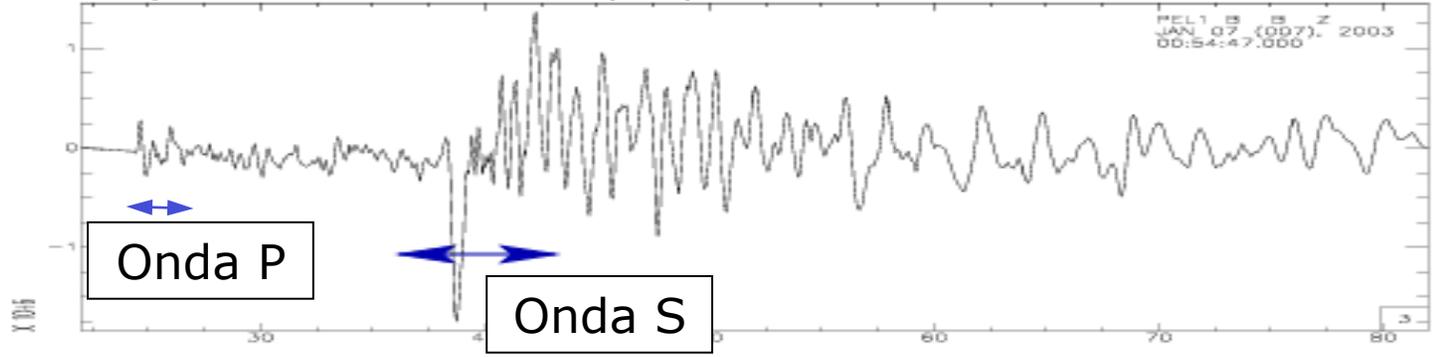
Sismograma:

Registro estación Peldehue (PEL) de la Universidad de Chile

Registro
en Peldehue
(GEOSCOPE)

Sismo M5.7 del
07/01/03
A 110 km
bajo Santiago

$\propto M_0$





UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



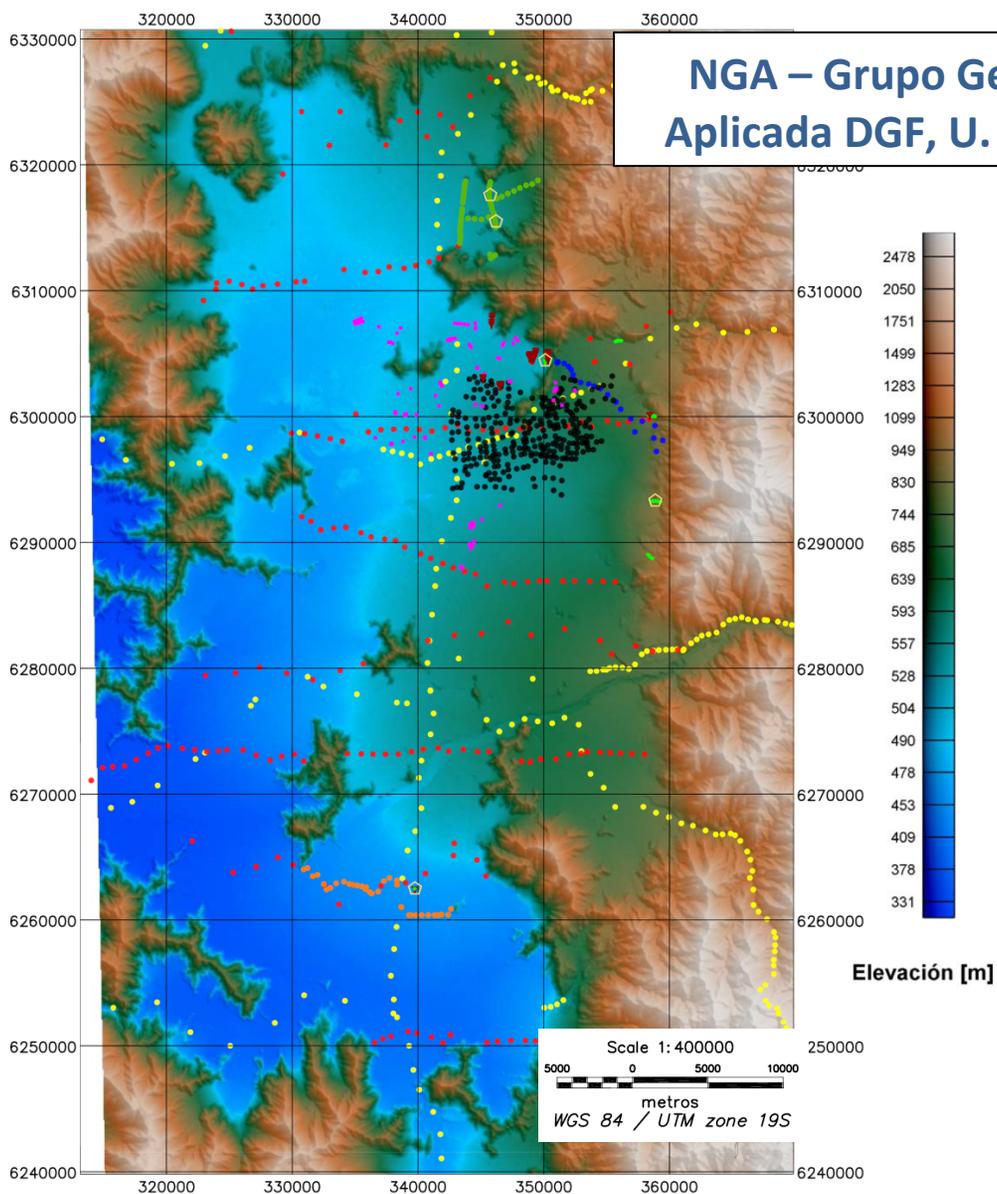
Respuesta sísmica de la cuenca de Santiago

- *Terremotos como el del 3 de marzo de 1985 han demostrado la importancia de considerar el **efecto de sitio** de la cuenca de Santiago.*
- *Al estar parte de la Región Metropolitana de Santiago asentada sobre capas geológicas de diferente comportamiento sísmico (gravas, aluviales, lacustres, cenizas volcánicas, etc), se presentan **fenómenos de amplificación sísmica que varían de un sitio a otro**, dependiendo de las propiedades geotécnicas de los tipos de suelos y de la profundidad del basamento rocoso. (Astroza y Monge, 1989).*

CARACTERIZACION GEOFISICA DE LA CUENCA DE SANTIAGO

BD GRAV. SELECCIONADOS Y VALIDADOS

BD PROPIOS GRAV. (ENERO-FEBRERO 2015)

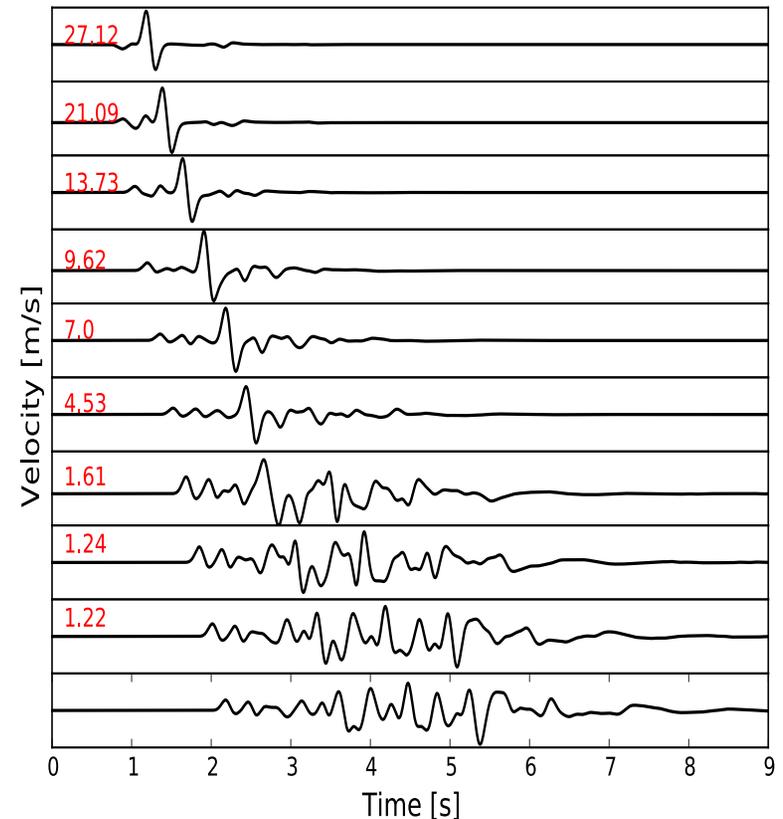
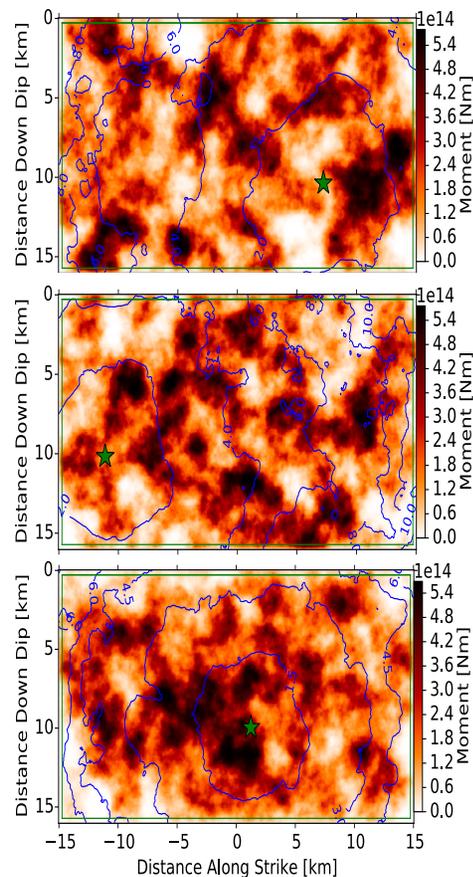
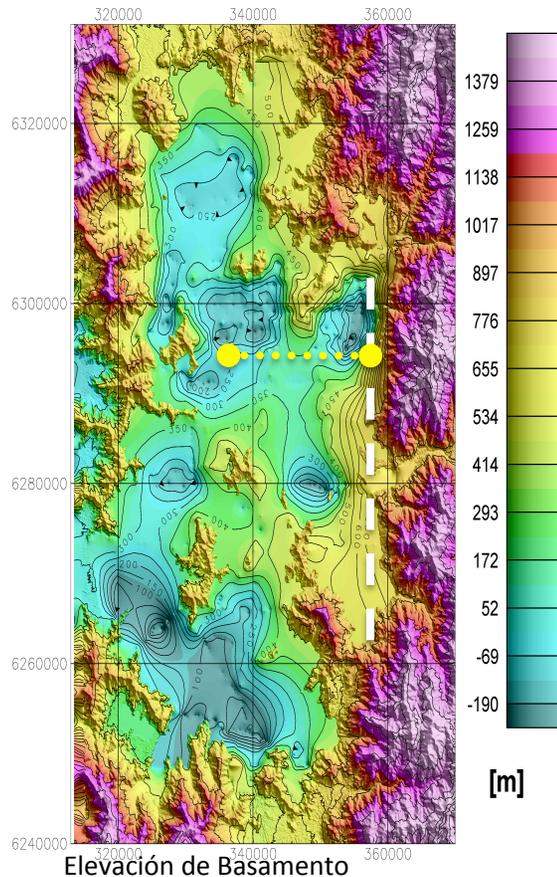


ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTIAGO

Simulación determinística de la Falla de San Ramón

- Modelo geofísico cuenca de Santiago
- Simulación de propagación de ondas en cuenca rellena con gravas y con geometría compleja.
- Exploración estocástica de ruptura sísmica físicamente verosímil.
- Escenarios de ruptura sísmica Falla San Ramón: ~ 2 TB data ; 32 Cores @ 3 GHz ;

Sismogramas de calculados hasta 2 Hz en **supercomputador Leftraru** (diferencias finitas con 120 Cores con código 100% paralelizado) para un terremoto elemental (point source) en la falla San Ramón; Simulación componente transversal cada 1 km desde la traza de la falla.





UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Peligro sísmico asociado a la Falla de San Ramón

- *Para no subestimar el riesgo sísmico, ni alarmar irresponsablemente a la población, se debe continuar con una **caracterización seria del riesgo, incorporando las vulnerabilidades físicas y sociales.***
- *Para no generar más riesgo y avanzar hacia una reducción del riesgo sísmico, se debe **incorporar la información científica relativa al riesgo en los planes territoriales.***
- *Ir avanzando hacia una toma de decisiones basada en información científica.*

Algunas debilidades en la RMS (diagnóstico)

- *Carencia de catálogos sísmicos (regionales y nacionales) para evaluación de peligro sísmico.*
- *Faltan protocolos de intercambio de información entre instituciones claves.*
- *No hay estudio completo de estimación de riesgo sísmico asociado a la FSR y del impacto para la población y los bienes físicos.*
- *No hay microzonificación sísmica de la RMS.*
- *La información científica no está siendo incorporada en los planes territoriales regionales y locales.*



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Recomendaciones para avanzar hacia un Santiago más resiliente

A corto plazo:

- *Construir el mapa de “Orden Cero” de la amenaza sísmica en la región con la información disponible.*
- *Integrar información del proyecto OTAS relativa a los desastres socionaturales en el marco de la elaboración del PROT.*
- *Identificar la infraestructura crítica en la RMS, en particular aquella que debe garantizar continuidad operacional por tratarse de “líneas de vida”, y evaluar su vulnerabilidad ante la amenaza sísmica, en especial asociada al sistema de Falla de San Ramón.*



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE
RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Recomendaciones para avanzar hacia un Santiago más resiliente

A mediano plazo:

- *Establecer una relación formal entre el GORE-RMS y las instituciones académicas de relevancia en el área del riesgo sísmico para disponer de un Comité Científico en esta área.*
- *Construir una plataforma de información pública relativa al riesgo sísmico; promocionar el uso de esta plataforma a nivel comunal.*
- *Diseñar una formación continua en conjunto con las Universidades relevantes en esta temática para funcionarios regionales y municipales que trabajen sobre temáticas relacionadas al riesgo de desastres.*



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Recomendaciones para avanzar hacia un Santiago más resiliente

A mediano plazo:

- *Construir un mapa de microzonificación sísmica que sirva de referencia para el PROT y los PRC.*
- *Construir un mapa de exposición y un mapa de riesgo sísmico a escala regional que sirva de referencia para el PROT y los PRC.*
- *Analizar y actualizar los protocolos regionales ante sismo.*
- *Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura crítica regional y diseñar planes y proyectos de mejoras.*



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Recomendaciones para avanzar hacia un Santiago más resiliente

A largo plazo:

- *Avanzar en la identificación de la Falla San Ramón y caracterización de amenaza sísmica asociada a través de colaboraciones a largo plazo con instituciones académicas.*
- *Iniciar una revisión de las mallas curriculares en vista de integrar una perspectiva regional del riesgo sísmico.*
- *Promover la emergencia de soluciones innovadoras a problemas detectados en los análisis anteriores a través de la participación de las comunidades (comunidades locales, estudiantes, etc.).*



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Recomendaciones para avanzar hacia un Santiago más resiliente

A largo plazo:

- *Promover la prevención sísmica a través de planes de diálogos intergeneracionales e interculturales.*
- *Promover la divulgación del conocimiento científico hacia la ciudadanía.*
- *Integrar el riesgo sísmico en todos los planes territoriales regionales y locales.*
- *Compartir las experiencias y lecciones aprendidas con otras regiones de Chile y otras ciudades del mundo a través de seminarios y proyectos conjuntos.*



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Nuestros aportes para avanzar hacia un Santiago Resiliente

- Informar los responsables técnicos y la ciudadanía sobre el contexto sísmico regional y nacional (Plataforma de datos sismológicos).
- Evaluar el peligro y riesgo sísmico en la RMS (apoyo a organismos técnicos para simulacro, estudio de investigación aplicada).
- Avanzar hacia una investigación inter y transdisciplinaria, con aportes tanto de las ciencias físicas como de las ingenierías y ciencias sociales (incorporación de disipadores sísmicos en viviendas sociales, reconstrucción post-desastre, conservación del patrimonio ante peligro sísmico, y otros).



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



Nuestros aportes para avanzar hacia un Santiago Resiliente

- *Consolidar la cultura sísmica chilena a través de la educación científica de los niños y de las comunidades en general (muestra itinerante ExpoSismos junto a Explora, museo de sismología en el Cerro Santa Lucía).*
- *Hacer del riesgo de desastres una temática común a todos los profesionales que egresen de la Universidad de Chile.*
- *Sensibilizar la ciudadanía sobre la importancia de la reducción del riesgo de desastres (Día internacional de la reducción de desastres, cafés con ciencia, prensa)*



UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO RESILIENTE
RIESGO SÍSMICO

CITRID
Programa de Reducción de Riesgos y
Desastres



¡Gracias!

Más información sobre PRS: <http://riesgosismico.dgf.uchile.cl>

Más información sobre CITRID: <http://citrid.uchile.cl/>

Facebook: <http://www.facebook.com/citriduchile/>

Twitter: <http://twitter.com/citriduchile>