

Aplicaciones de InSAR en Tectónica Activa: un estudio del terremoto de Chiloé del 2016 y su relación con el megaterremoto de Valdivia de 1960

Francisco Delgado

fdelgado@uchile.cl

[fdelgadodelapuerto.github.io](https://github.com/fdelgadodelapuerto)

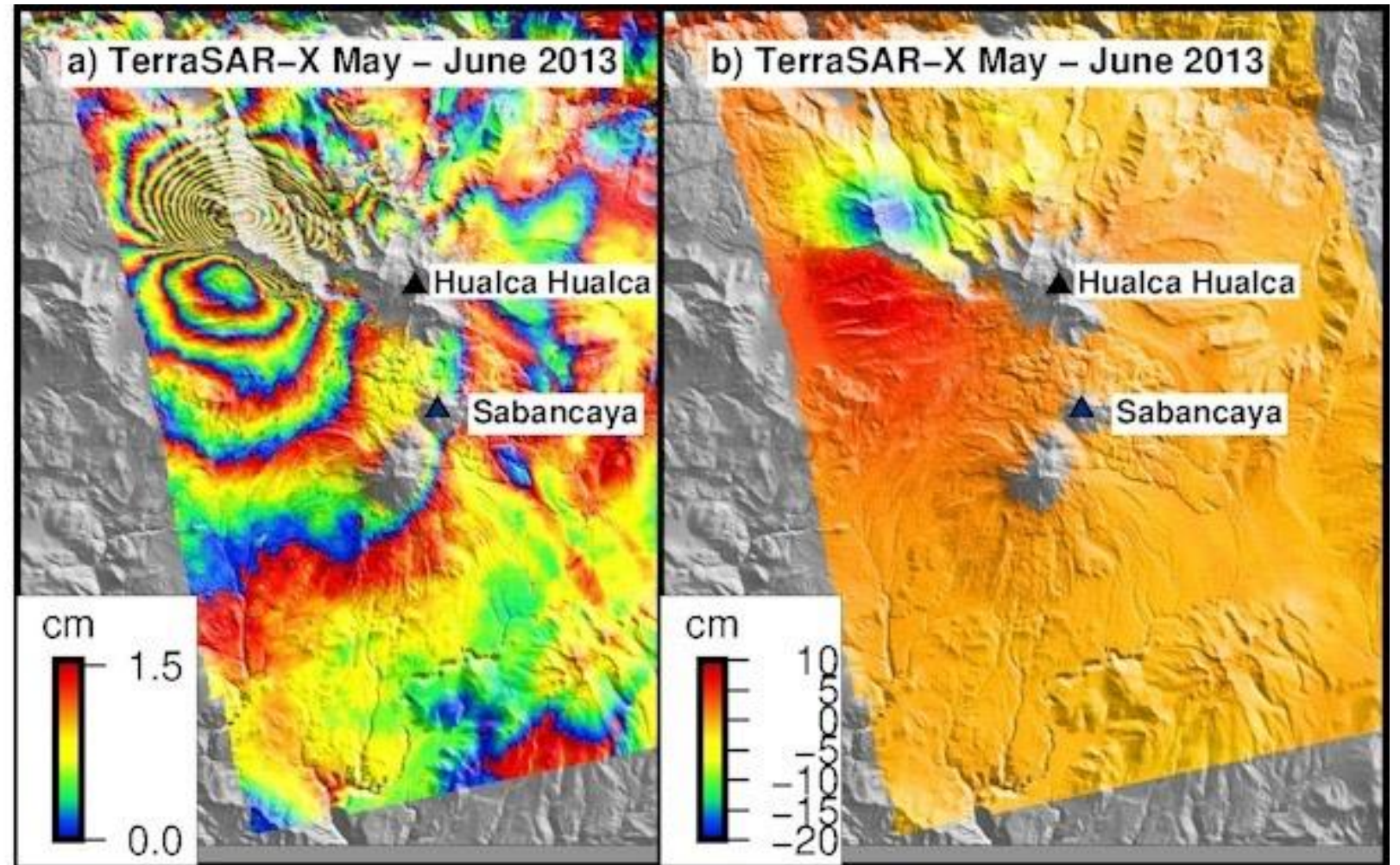
Martes 30 de Noviembre 2021

Departamento de Geología y Programa de Riesgo Sísmico
Universidad de Chile

¿Qué es la Interferometría de Radar?



Terremoto de Landers 1992
Massonnet et al, 1993



Interferometría de radar: uso de la fase de una señal de radar para medir la distancia relativa entre un sensor y un punto

Si dos observaciones son hechas desde el mismo lugar, pero a tiempos distintos, la fase interferométrica es proporcional a cualquier cambio en la distancia entre la superficie y el satélite

Misiones InSAR

- Hasta 2015, modo Stripmap (80x80 km²)
- Terremoto Gorkha Abril 2015 primera aplicación sistemática de modos Wide Swath, cobertura global
 - Sentinel-1 TOPS (*Terrain Observations by Progressive Scans*, 250 x 250 km²), banda C, 5 Gb
 - ALOS-2 ScanSAR (*Scanning Synthetic Aperture Radar*, 350x350 km²), banda L, 64 Gb
- Tiempos de respuesta desde meses como en los 2000s a idealmente 1-6 días post 2018

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/03/Sentinel-1_seeing_through_clouds

nature communications

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [nature communications](#) > [review articles](#) > article

Open Access | [Published: 22 December 2016](#)

The role of space-based observation in understanding and responding to active tectonics and earthquakes

[J.R. Elliott](#) ✉, [R.J. Walters](#) & [T.J. Wright](#)

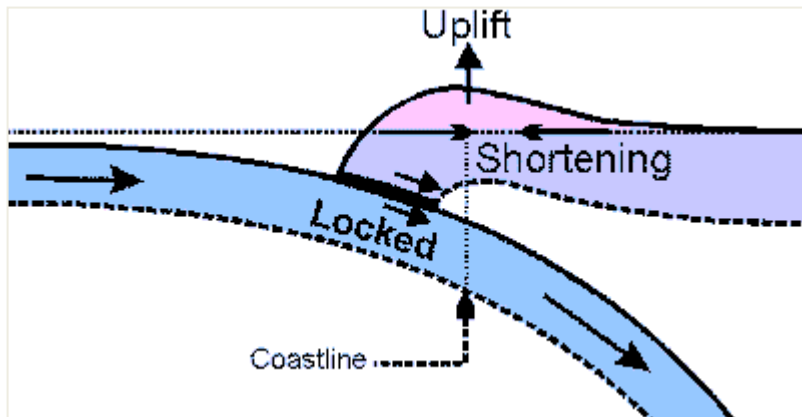
[Nature Communications](#) 7, Article number: 13844 (2016) | [Cite this article](#)

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/03/Sentinel-1_constellation

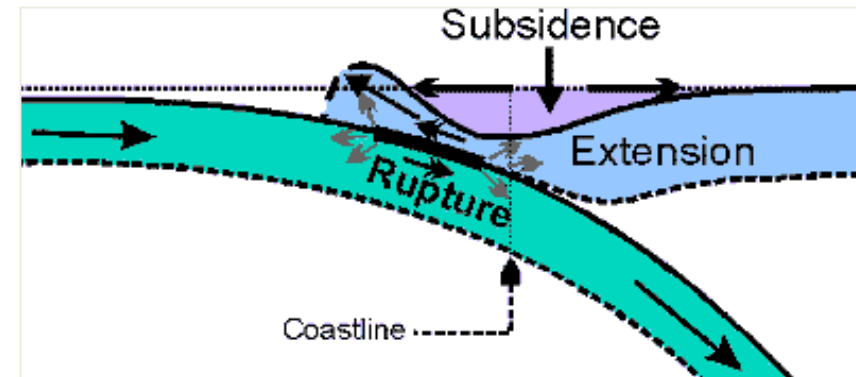
Ciclo Sísmico: Megathrust

- Mecánica de fallas por mecanismos de *stick-slip*
- Patrón general de deformación
 - Intersísmico: alzamiento en tierra, muy difícil de medir con InSAR
 - Cosísmico: subsidencia en tierra, alzamiento fondo del mar, fácil de medir con InSAR
- Patrones de deformación cambian dependiendo de la la profundidad de la ruptura o el patrón de bloqueo y la distancia entre la fosa y la costa

- Intersísmico



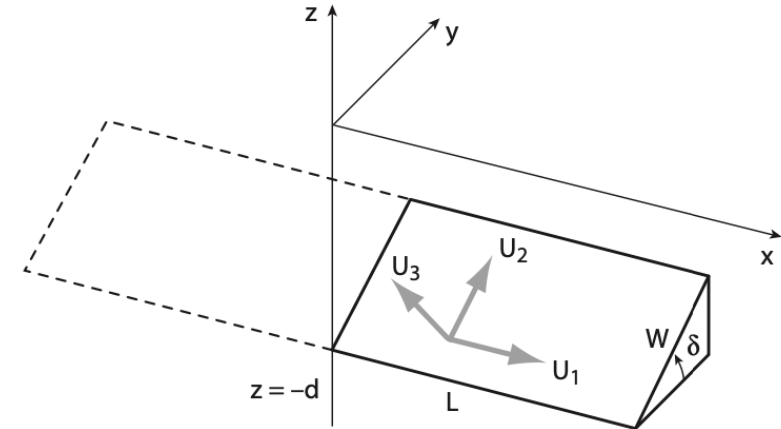
- Cosísmico



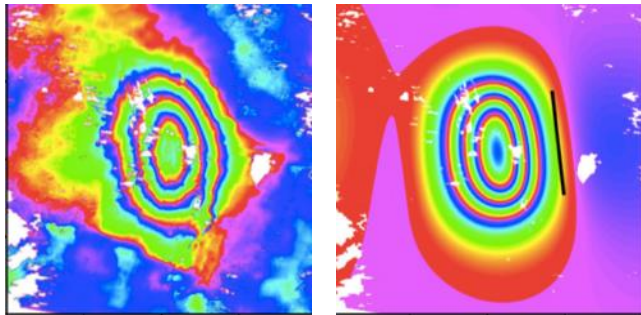
Sismología v/s InSAR

Parámetros	Deformación InSAR	Inversión de ondas de cuerpo telesísmicas
Localización fuente	si	si
M_w y mecanismo ruptura	si	si
Slip y largo ruptura	si	--
Directividad, tiempo centroide, función de fuente sísmica	--	si

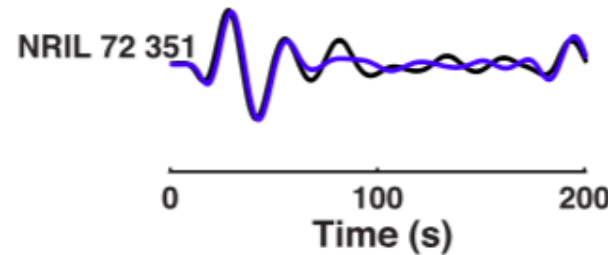
- InSAR no permite determinar parámetros dependientes del tiempo: modelo de falla de Okada (1985) de frecuencia cero



Okada, 1985; Segall, 2010



Weston et al., 2014



- En InSAR no existe la distinción campo cercano - lejano ni el hipocentro del terremoto pero si el centroide de la falla
- M_w (InSAR) > M_w (GPS/sismología), InSAR incluye afterslip
- $M_w > 5$

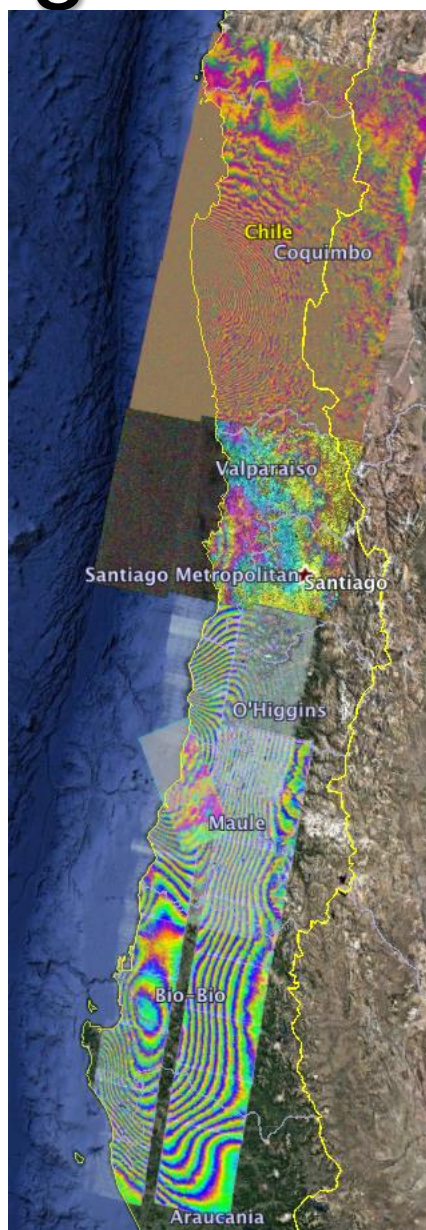
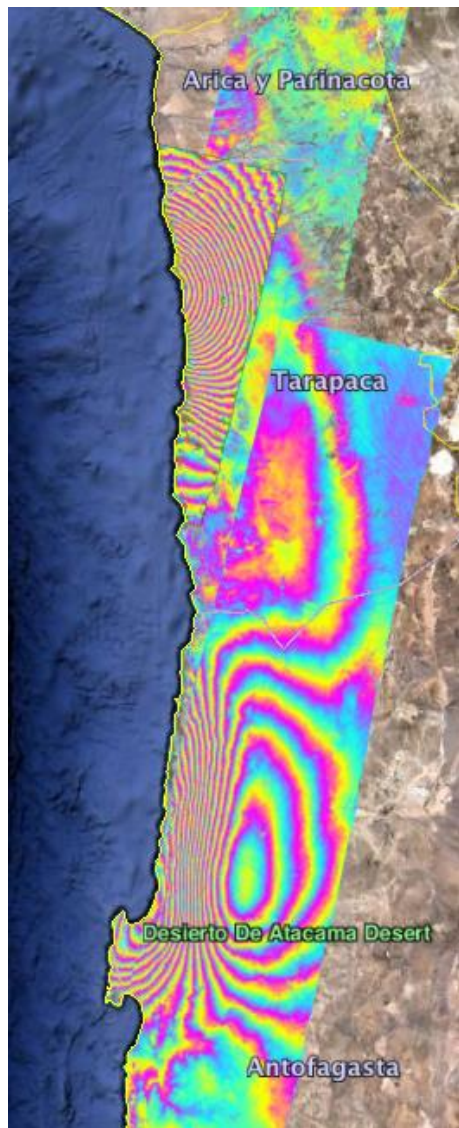
Terremotos Megathrust e InSAR en Chile

Iquique 2014, M_w 8.2
RADARSAT-2 MF23
Hayes et al., 2014

Tarapacá 2005 M_w 7.7
ENVISAT ASAR IM2
Peyrat et al., 2006

Tocopilla 2007 M_w 7.7
ENVISAT ASAR IM2
Bejar et al., 2010; Loveless et al., 2010; Motagh et al., 2010

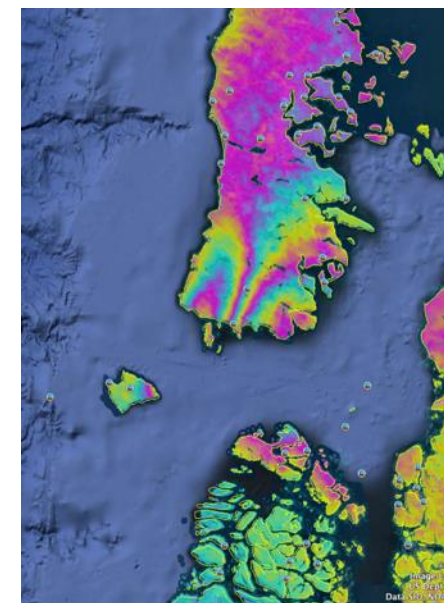
Antofagasta 1995, M_w 8.1
ERS-1 SAR
Pritchard et al., 2002



Illapel 2015 M_w 8.4
Sentinel-1 TOPS
Feng et al., 2017; Klein et al., 2017; Grandin et al., 2016

Punitaqui 1997 M_w 7.1
ERS-2 SAR
Ducret, PhD, 2013

Valparaíso 2017 M_w 6.9
Sentinel-1 TOPS



Chiloé 2016 M_w 7.6
ALOS-2 WD1
Xu, 2017; Moreno et al., 2018
Bravo, Peyrat, Delgado et al., under review

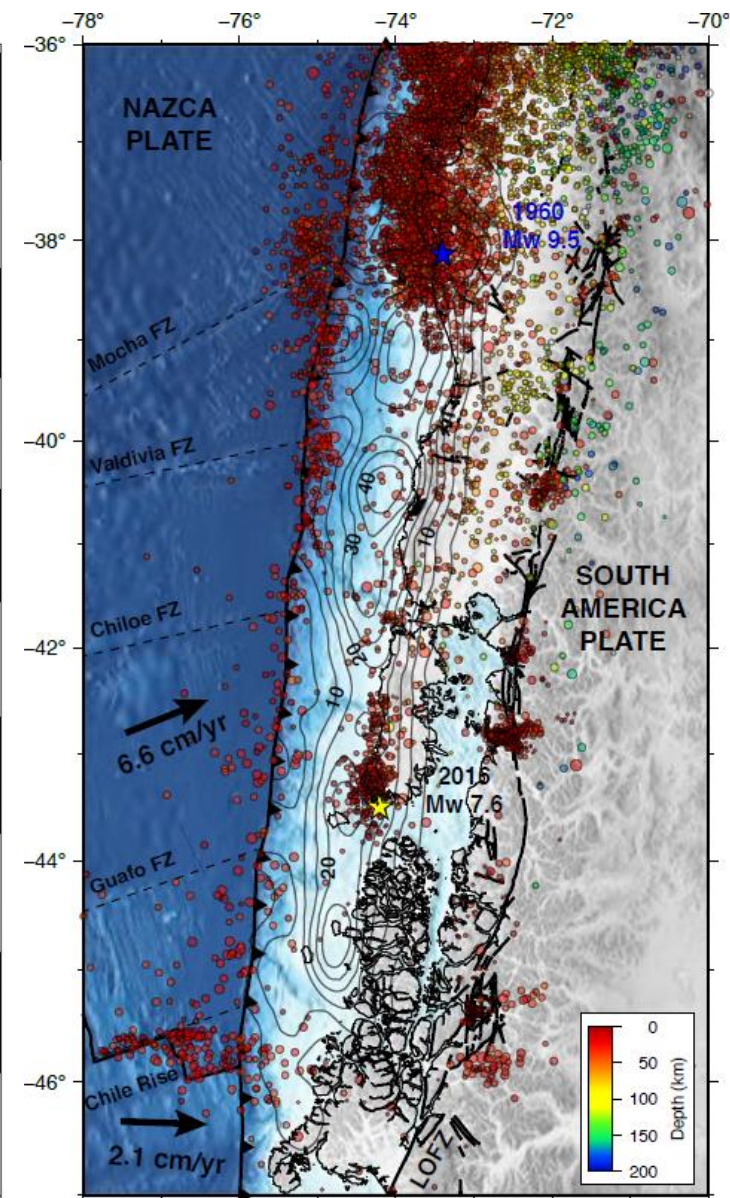
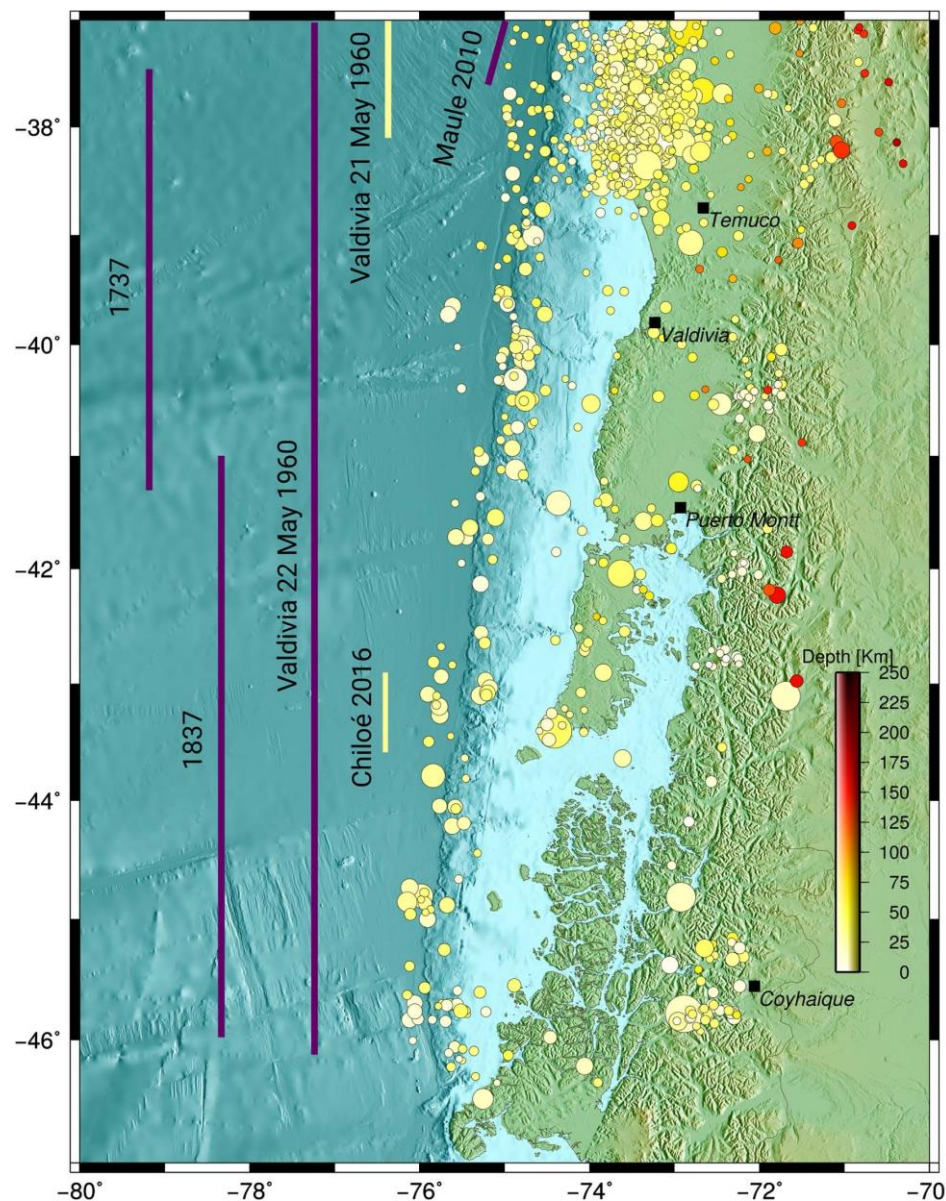
Constitución 2012 M_w 7.0
ENVISAT ASAR IM6
Ruiz et al., 2013

Maule 2010, M_w 8.8
ALOS-1 FBD/FBS, WB1
Tong et al., 2010; Lin et al., 2013; Zhang et al., 2021

Terremoto de Chiloé

- Zona con muy poca instrumentación
- Primer terremoto importante que ocurre en el segmento de ruptura del terremoto de Valdivia de 1960 M_W 9.5.
- M_W 7.6, grande pero no megaterremoto
- Hipocentro en la esquina SW de Chiloé
- Tsunami y daños pequeños

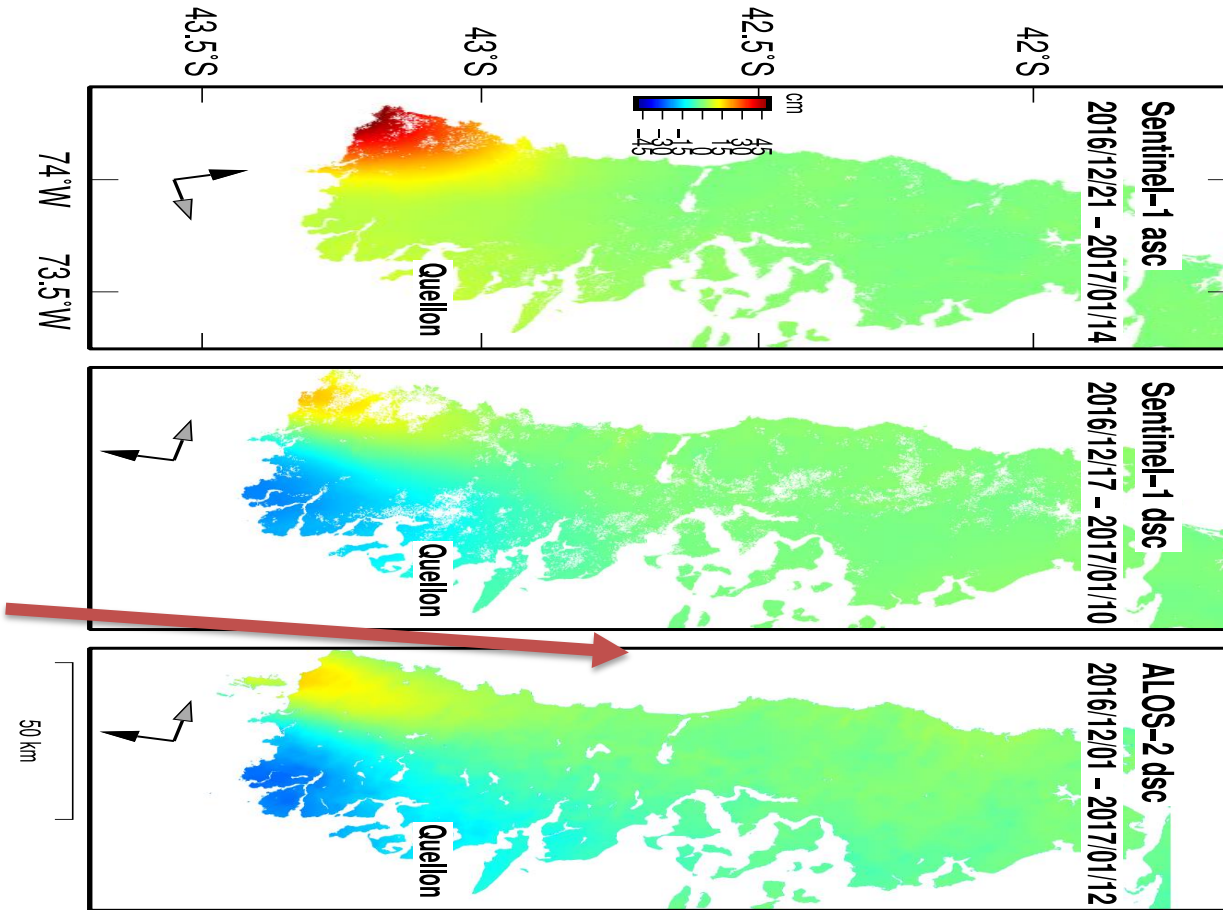
Ruiz y Madariaga., 2018



Bravo, Peyrat, Delgado, et al., under review

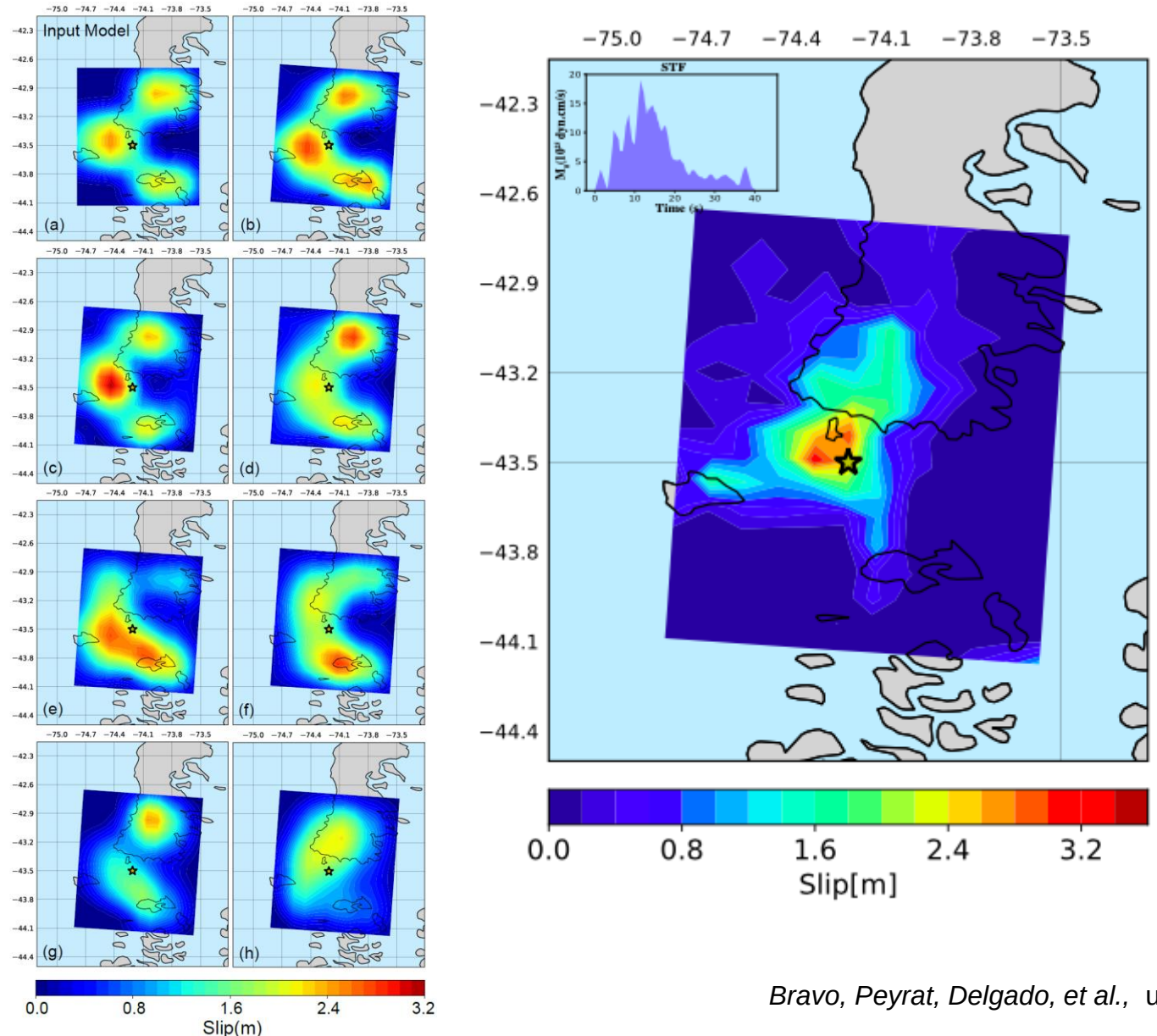
Observaciones de InSAR

- Sentinel-1 TOPS Banda C: baja coherencia, 24 días, ascendente y descendente
- ALOS-2 ScanSAR Banda L, alta coherencia, 42 días, descendente, distorsiones ionosféricas corregidas con *split-spectrum*
[Liang y Fielding, 2017]
- Zona de bisagra: ruptura profunda, downdip ~50 km
- Debido al periodo de repetición a fines del 2016, los datos de InSAR no permiten estudiar deformación postsísmica de este evento



Modelo de Deslizamiento Conjunto

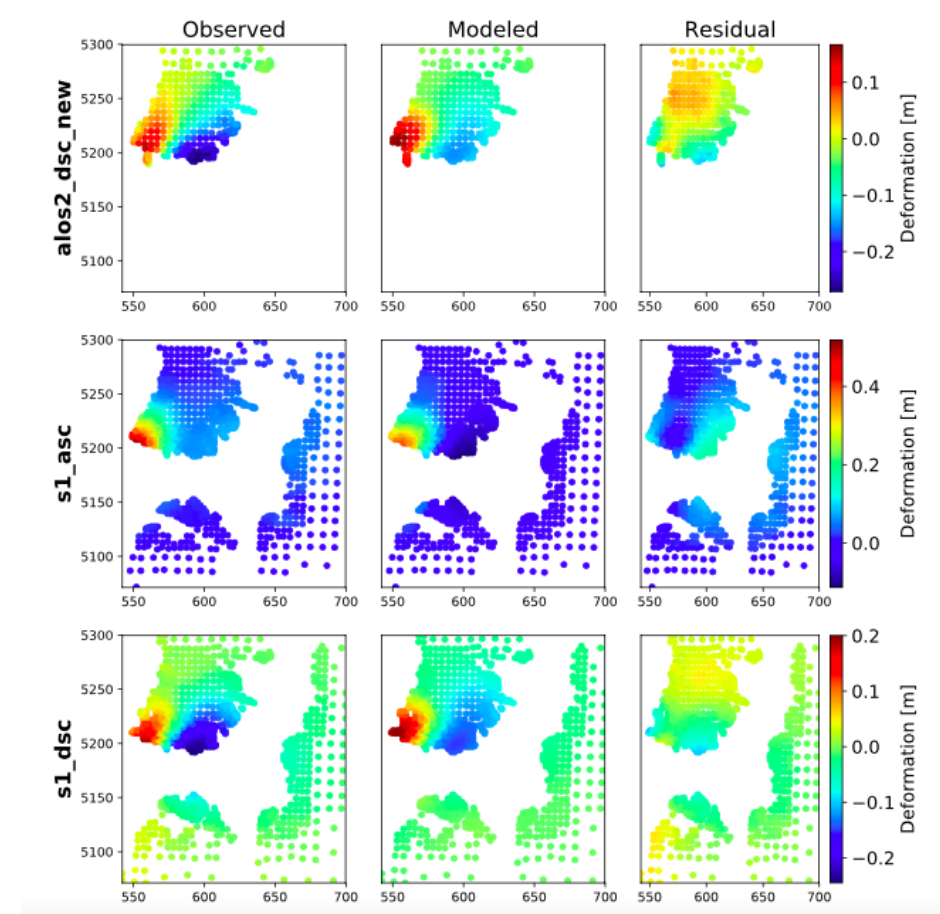
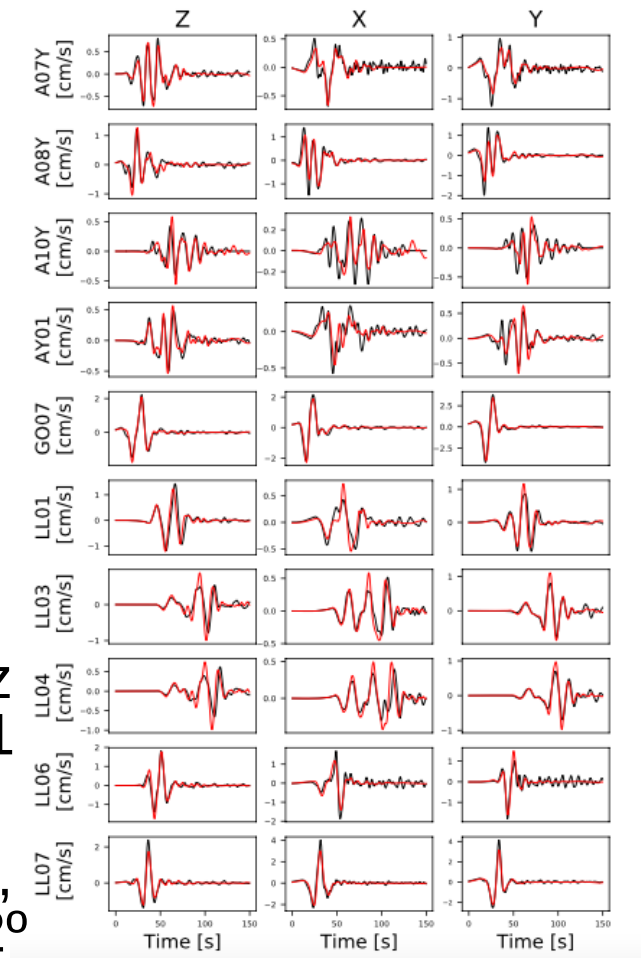
- Inversión conjunta
 - Acelerogramas
 - Sismogramas telesísmicos
 - GPS estático
 - GPS 1 Hz
 - InSAR
 - Mareogramas
- Test checkerboard de alta resolución en el sentido de la diagonal de la matriz de resolución de la inversión
- Una sola aspereza bajo el agua, deslizamiento de ~ 3 m, rake 92°
- M_W 7.6



Bravo, Peyrat, Delgado, et al., under review

Modelo de Deslizamiento Conjunto

- Inversión conjunta
 - Acelerogramas
 - Sismogramas telesísmicos
 - GPS estático
 - GPS 1 Hz
 - InSAR
 - Mareogramas
- Test checkerboard de alta resolución: diagonal de la matriz de resolución de la inversión ~ 1
- Una sola aspereza bajo el agua, deslizamiento de ~ 3 m, rake 92°
- M_W 7.6



Bravo, Peyrat, Delgado, et al., under review

Conclusiones

- Técnicas

- InSAR es una herramienta estándar al día de hoy en el estudio del ciclo sísmico de fallas activas
- Disponibilidad global de datos gracias a Sentinel-1
- Con problemas, pero también funciona en zonas con mucha vegetación: Patagonia, Alaska, Indonesia

- Científicas

- El terremoto de Chiloé deslizó ~3 mt la zona de contacto entre la placa de Nazca y la Sudamericana
- Gracias a la inversión conjunta y a diferencia de estudios previos [Melgar et al., 2017; Xu, 2017; Lange et al., 2018], el terremoto del 2016 no liberó energía acumulada antes de 1960