

SAR Interferométrico para la Observación de Deslizamientos de Tierra

Eric Jameson Fielding y Alexander Louis Handwerger, Jet Propulsion Laboratory, California
Institute of Technology

4 de diciembre de 2019



Objetivos de Aprendizaje

Al finalizar esta presentación, Usted podrá:

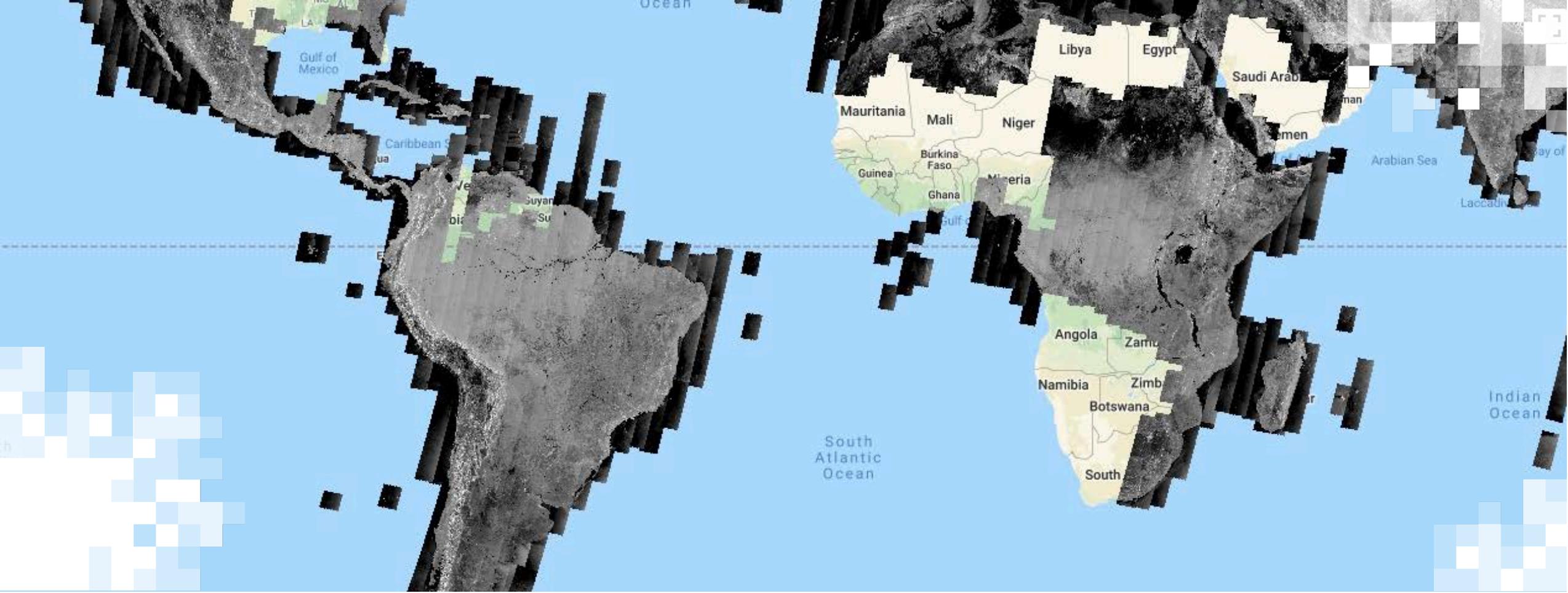
- Entender conceptos básicos de la interferometría SAR y el rastreo de píxeles de SAR
- Describir lo que la fase de SAR interferométrico indica sobre la superficie terrestre y los deslizamientos
- Describir el procesamiento de datos necesario para crear un interferograma
- Entender la información que contienen las imágenes de SAR interferométricas sobre el desplazamiento de tierra

Prerrequisitos

- Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética 2017
- Procesamiento y Análisis de Imágenes SAR 2017
- Introducción a la Interferometría SAR 2017

Reconocimientos

- JPL: N. Pinto, Y. Zheng, P. Agram, E. Gurrola, equipo de procesamiento de UAVSAR
- NASA AFRC & JSC: J. McGrath, pilotos y personal
- USGS: J. Coe, W. Schulz
- UC Berkeley: R. Bürgmann, B. Delbridge
- U de Maryland: Mong-Han Huang
- Los programas NASA Earth Surface and Interior, Geodetic Imaging, NISAR Science Team



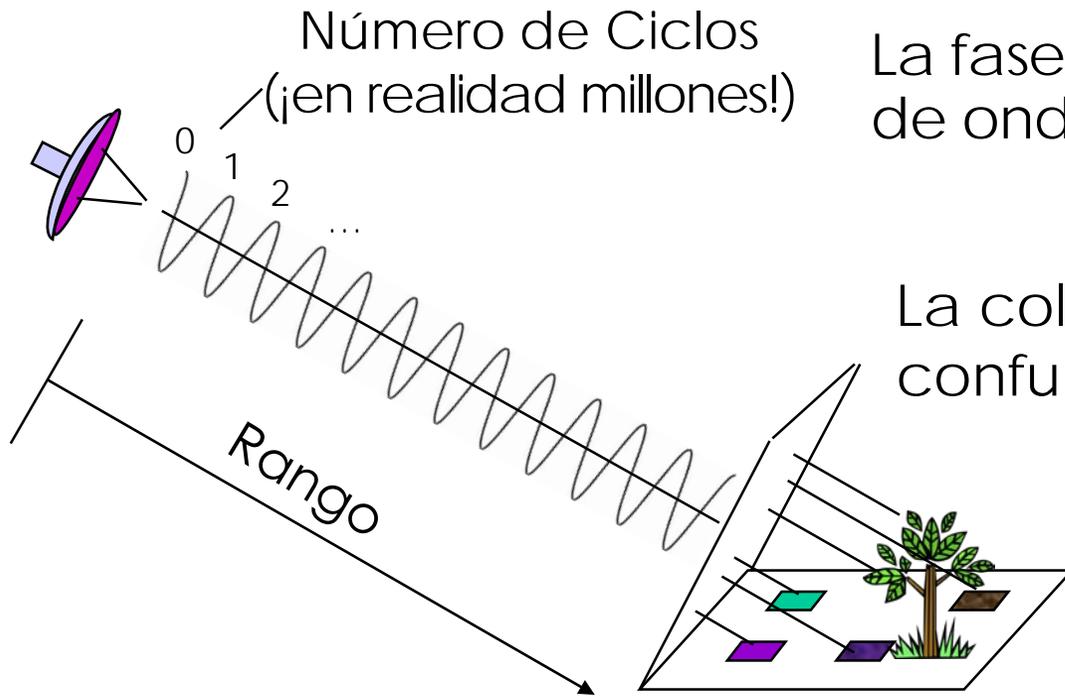
Teoría Interferométrica de SAR (Repaso)

Teoría de SAR Interferométrico

- Breve repaso de la teoría interferométrica del radar de apertura sintética
- Vea la capacitación ARSET de 2017 “Introducción a la Interferometría SAR” para más detalles
- En la interferometría SAR, lo más importante es la fase de la señal de SAR

Fase SAR–Medida del Rango y de la Complejidad de la Superficie

La fase de la señal de radar es el número de *ciclos de oscilación* que la onda ejecuta entre el radar y la superficie y de regreso



La fase total es un rango bidireccional medido en ciclos de onda + componentes superficiales aleatorios

La colección de longitudes de trayectorias aleatorias confunde la fase del eco

¡Sólo la *interferometría* lo puede resolver!

Diapositiva modificada de Paul Rosen (JPL)

Una Visión Simplista de las Fases de SAR

Fase de la 1^{ra} Imagen

$$\phi_1 = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \rho_1 + \textit{otras constantes} + n_1$$

Fase de la 2^{da} Imagen

$$\phi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \rho_2 + \textit{otras constantes} + n_2$$

1. Las “otras constantes” no se pueden determinar directamente
2. Las “otras constantes” dependen de la distribución de los dispersantes en la celda de resolución, la cual se desconoce y varía de celda en celda
3. La única forma de observar el cambio de rango es a través de la interferometría (cancelación de las “otras constantes”)

Diapositiva modificada de Paul Rosen (JPL)

Aplicaciones de la Interferometría SAR

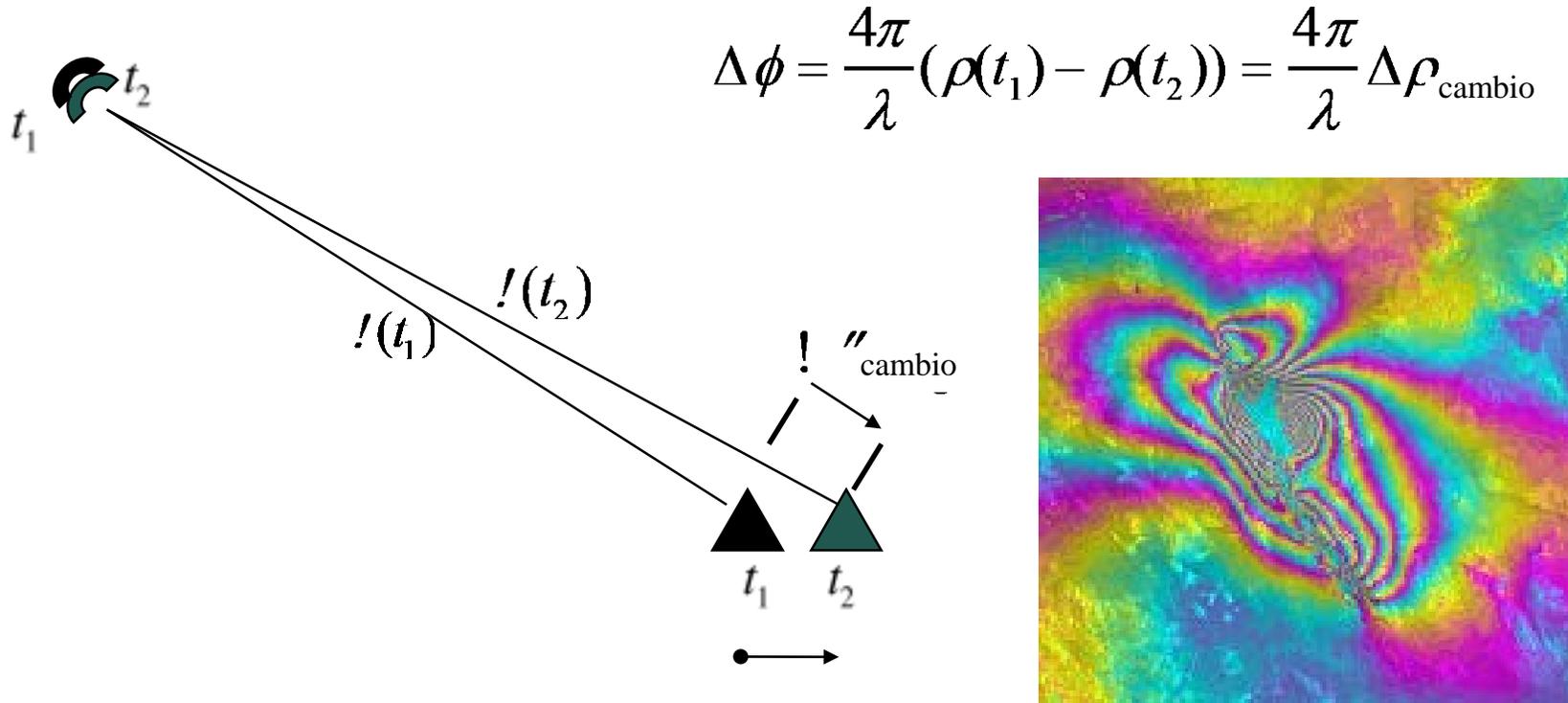
- Mapeo/Cartografía
 - Se utilizó la interferometría SAR en la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) en el año 2000. Los datos fueron reprocesados en el 2018 y esta nueva versión se llama NASADEM y están disponibles sin costo.
 - La interferometría de radar en plataformas aéreas se utiliza frecuentemente para producir mapas topográficos conocidos como modelos de elevación digital (digital elevation models o DEMs)
 - Exactitud de posición circular de 2 a 5 metros
 - Resolución de 5 a 10 m
 - Se producen DEMs de 10 km por 80 km en una hora en una mini-supercomputadora
 - NASA produce mapas de topografía con SAR utilizando GLISTIN
 - Las imágenes de radar se geocodifican automáticamente y así se pueden combinar más fácilmente con otros conjuntos de datos (multiespectrales)
 - El mapeo rápido interferométrico facilita las aplicaciones topográficas
 - Gestión y clasificación de usos del suelo, evaluación de riesgos, inteligencia, planificación urbana, geología a corta y larga escala temporal, hidrología

Aplicaciones de la Interferometría SAR

- Mapeo de Deformaciones y Detección de Cambios
 - La interferometría de radar de paso repetido desde plataformas espaciales se utiliza comúnmente para producir mapas de cambios topográficos conocidos como modelos de desplazamiento digitales (digital displacement models o DDMs).
 - Tienen una exactitud de desplazamiento relativo de 0,1 a 1 centímetro
 - Paso de muestreo y resolución de 10 a 100 m
 - Se producen DDMs entre 10 y 350 km de ancho rápidamente una vez que los datos están disponibles
 - Aplicaciones incluyen
 - Monitoreo y modelación de terremotos y volcanes, derrumbes y subsidencia
 - Dinámica de glaciares y la capa de hielo
 - Deforestación, detección de cambios, monitoreo de desastres

Interferometría Diferencial

- Cuando se obtienen dos observaciones desde el mismo punto en el espacio pero en momentos diferentes, la fase interferométrica es directamente proporcional a cualquier cambio en el rango de las características de la superficie.



Sensibilidades Interferométricas Diferenciales

- La razón por la que la interferometría diferencial puede detectar deformaciones superficiales a nivel milimétrico es porque la fase diferencial es mucho más sensible al desplazamiento que a la topografía.

$$\frac{\partial \phi}{\partial h} = \frac{2\pi \rho b \cos(\theta - \alpha)}{\lambda \rho \sin \theta} = \frac{2\pi b_{\perp}}{\lambda \rho \sin \theta}$$

Sensibilidad Topográfica

$$(\phi \Leftrightarrow \Delta\phi) \quad \frac{\partial \phi}{\partial \Delta\rho} = \frac{4\pi}{\lambda}$$

Sensibilidad al Desplazamiento

$$\sigma_{\phi_{topo}} = \frac{\partial \phi}{\partial h} \sigma_h = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{b_{\perp}}{\rho \sin \theta} \sigma_h$$

Término de Sensibilidad Topográfica

$$\sigma_{\phi_{desp}} = \frac{\partial \phi}{\partial \Delta\rho} \sigma_{\Delta\rho} = \frac{4\pi}{\lambda} \sigma_{\Delta\rho}$$

Término de Sensibilidad al Desplazamiento

$$\text{Ya que } \frac{b}{\rho} \ll 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{\sigma_{\phi_{desp}}}{\sigma_{\Delta\rho}} \gg \frac{\sigma_{\phi_{topo}}}{\sigma_h}$$

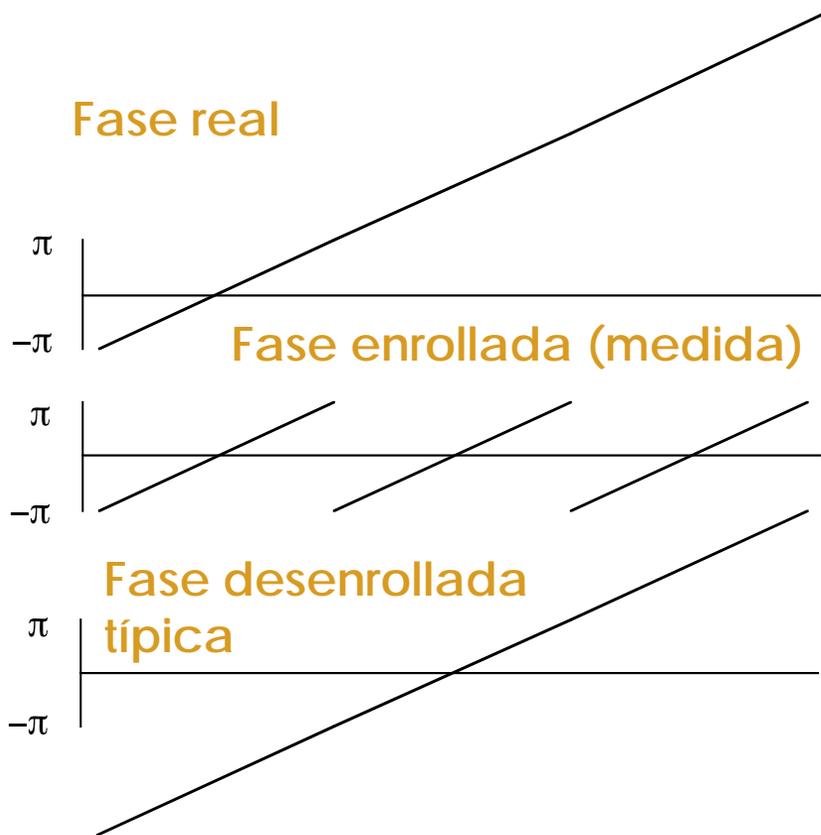
Mediciones Topográficas a Escala Métrica – Cambios Topográficos a Escala Milimétrica

Diapositiva modificada de Paul Rosen (JPL)

Desenrollamiento de la Fase

- A partir de la fase medida y enrollada, desenvuelva la fase desde algún punto de comienzo arbitrario y después determine la "ambigüedad" de fase 2-pi correcta

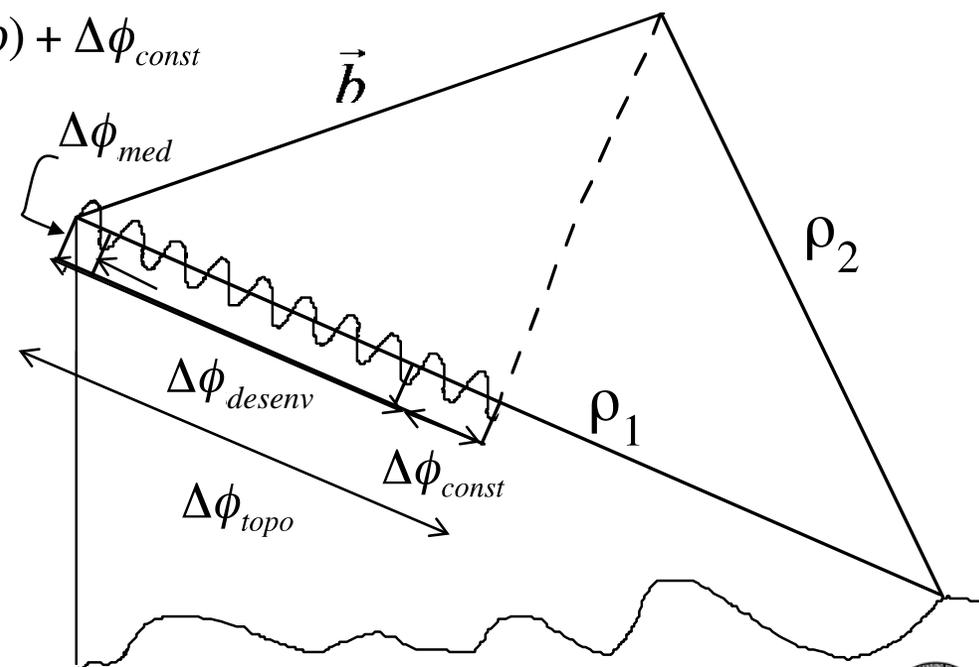
Fase real



$$\Delta\phi_{topo} = \frac{2\pi p}{\lambda}(\rho_1 - \rho_2) = \frac{2\pi p}{\lambda} \vec{b} \cdot \vec{l}$$

$$\Delta\phi_{med} = \text{mod}(\Delta\phi_{topo}, 2\pi)$$

$$\Delta\phi_{desenv}(s, \rho) = \Delta\phi_{topo}(s, \rho) + \Delta\phi_{const}$$



Diapositiva modificada de Paul Rosen (JPL)

Teoría de Correlación*

- Las señales InSAR se decorrelacionan (se vuelven incoherentes) debido a
 - Ruidos térmicos y por Procesamiento
 - Dispersión Diferencial Geométrica y Volumétrica
 - Rotación de la Geometría de Visualización
 - Movimientos aleatorios a través del tiempo
- La decorrelación está relacionada con la desviación del estándar de la fase local de la fase del interferograma
 - Afecta la precisión de la altitud y el desplazamiento
 - Afecta la habilidad de desenrollar la fase

* "Correlación" y "Coherencia" a menudo se usan como sinónimos

Diapositiva Modificada de Paul Rosen (JPL)

Componentes Correlativos de InSAR

- Los efectos de correlación se multiplican, a diferencia de los efectos de fase que se suman
- Una baja coherencia o decorrelación por cualquier motivo causa una pérdida de información en esa área

$$\gamma = \gamma_v \gamma_g \gamma_t \gamma_c$$

donde

γ_v es volumétrico (árboles)

γ_g es geométrico (pendientes empinadas)

γ_t es temporal (cambios graduales)

γ_c es cambios repentinos

Longitud de Onda:

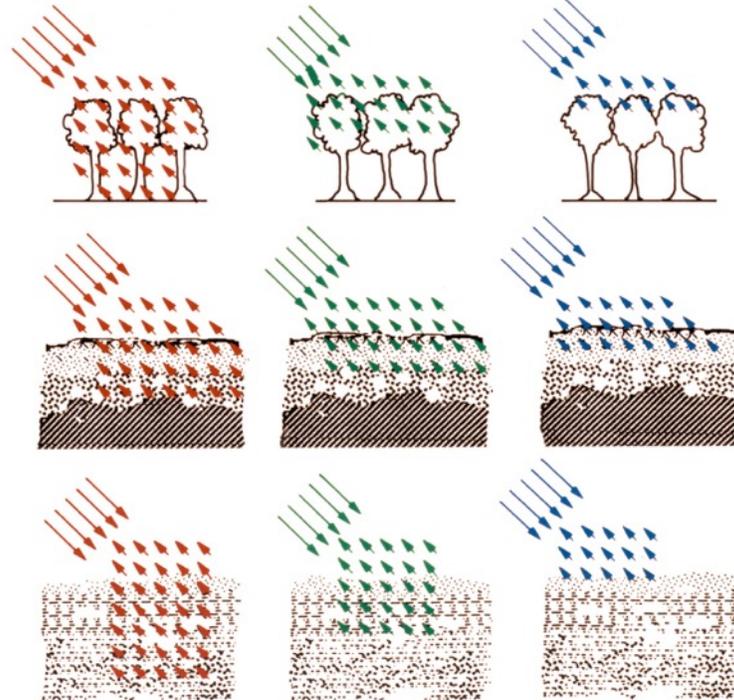
La señal interactúa más con los objetos de tamaño similar a la longitud de onda

Bosque: Las hojas reflejan las longitudes de banda-X pero no las de banda-L

Suelos Secos: La superficie se ve rugosa en la banda-X pero no en la banda-L

Hielo: La superficie y las capas se ven rugosas en la banda- X pero no en la banda-L

L (24 cm) C (6 cm) X (3 cm)

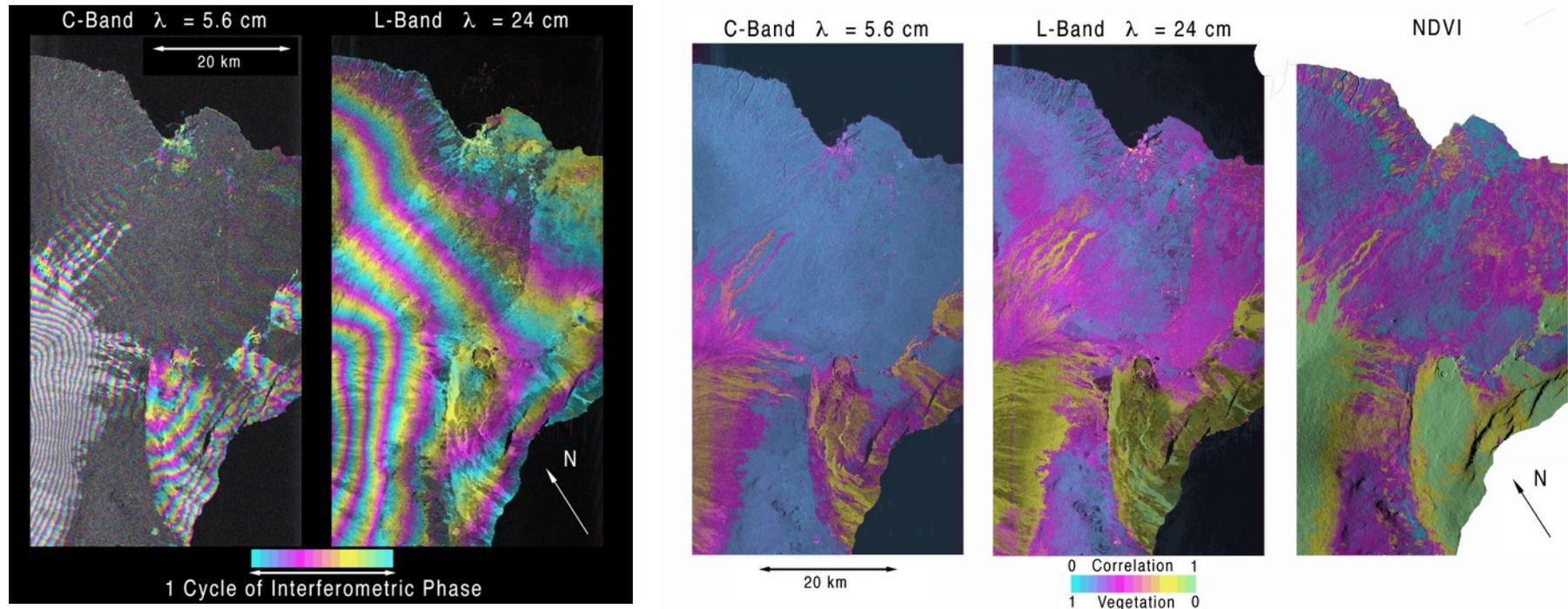


Diapositiva Modificada de Paul Rosen (JPL)

Detección de Cambios Coherentes

Interferometría de SIR-C banda-L y banda-C

- Creación de interferogramas con imágenes separadas por 6 meses
- Bandas C y L simultáneas



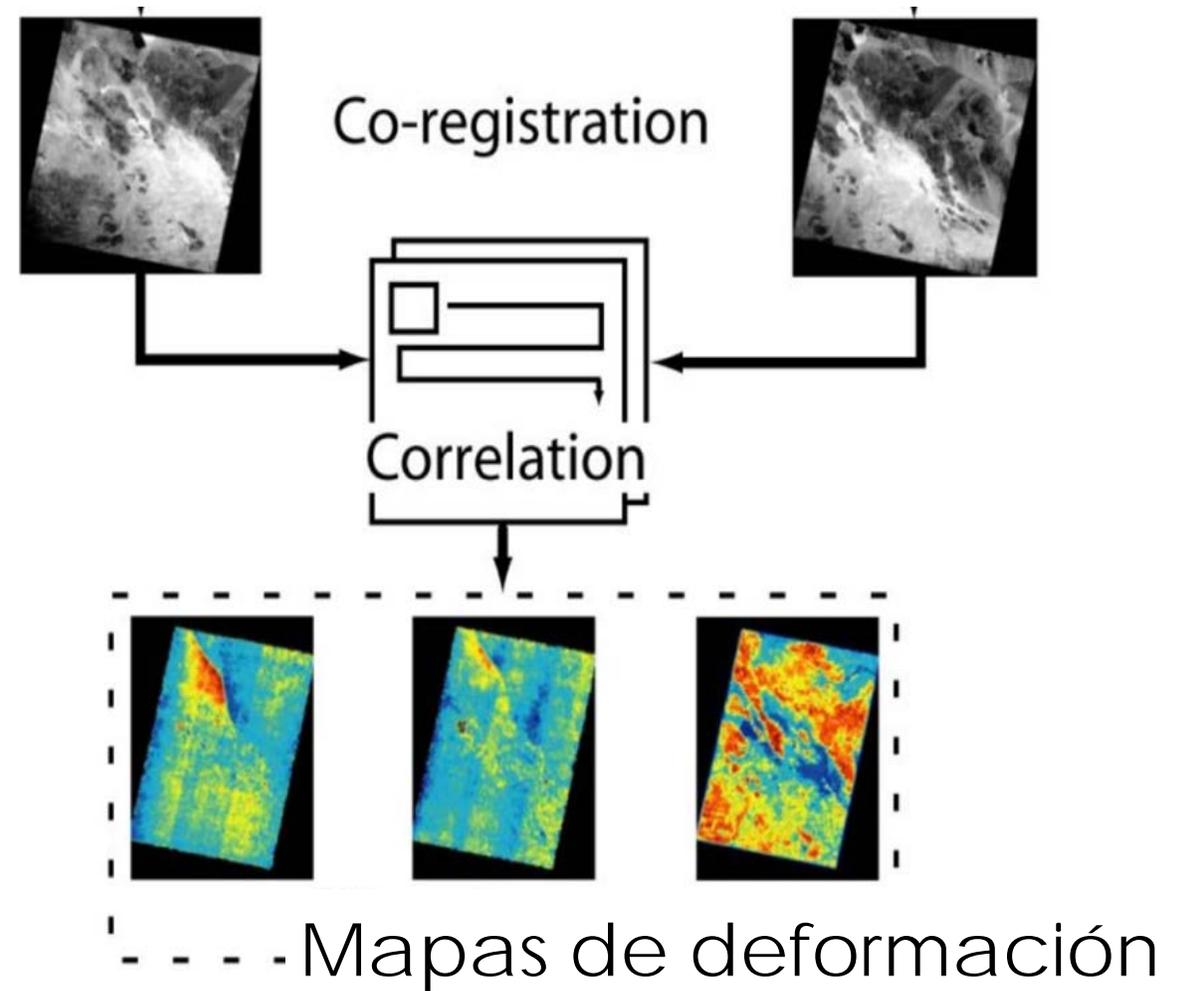
Los experimentos de InSAR han mostrado una buena correlación en la banda-L

Seguimiento de Desplazamiento de Pixeles con SAR

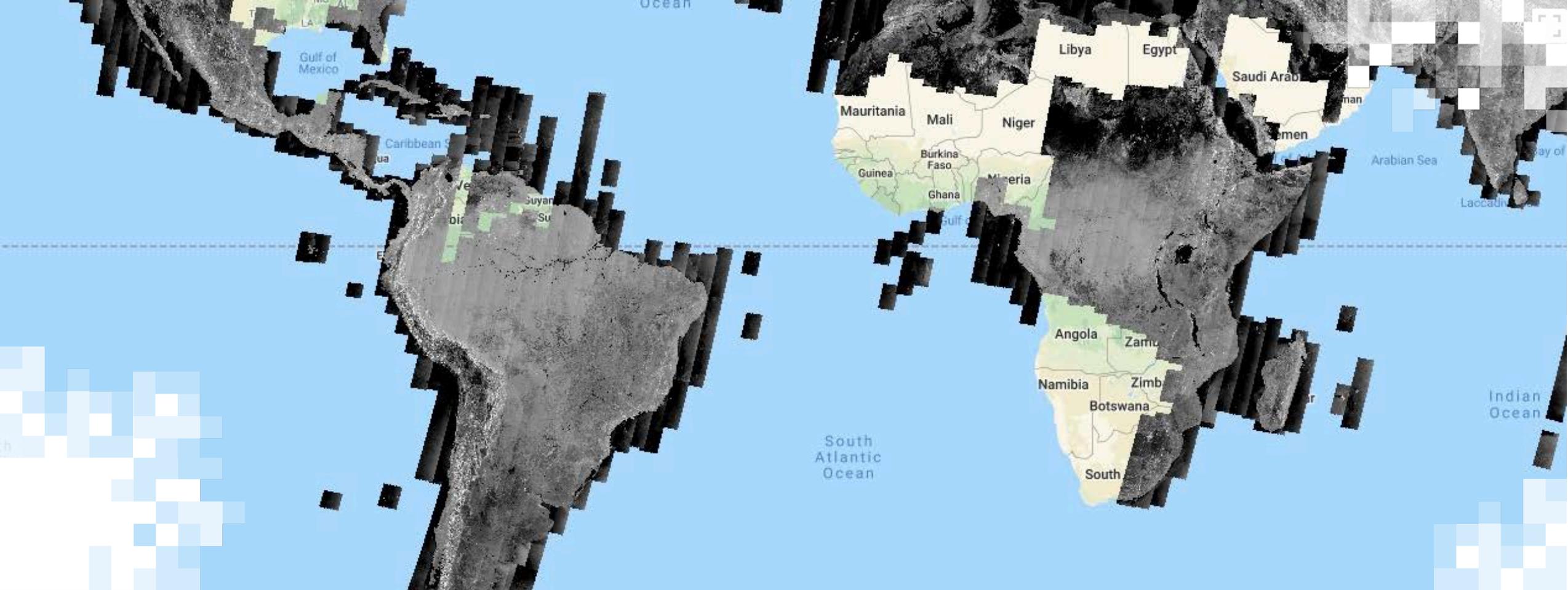
- Grandes desplazamientos de la superficie, más de aproximadamente $1/10$ del tamaño de un pixel de SAR, causan una pérdida de coherencia de InSAR
- Los deslizamientos y terremotos comprenden grandes desplazamientos
- El seguimiento del desplazamiento de pixeles o correlación de imágenes puede medir grandes desplazamientos
- Sirve para imágenes ópticas o SAR
- De manera similar a InSAR, mide los desplazamientos entre dos imágenes
- Los desplazamientos de pixeles de SAR miden deformación 2D diagonalmente a lo largo de la línea visual y horizontalmente a lo largo de la dirección del vuelo
- Por medio de una correlación cruzada precisa mide cambios en la amplitud de las imágenes a nivel del subpíxel

Seguimiento de Desplazamiento de Pixeles con SAR

- **Ventajas:**
- Mediciones en 2 dimensiones
- No hay límite en la magnitud de deformación que se puede medir (InSAR tiene límite)
- Mide un campo de deformación continuo
- Las nubes no son problemáticas
- Pocos o ningún efecto atmosférico
- **Limitaciones:**
- Sensibilidad a escala de centímetros a metros
- Vegetación
- Sesgo de observación



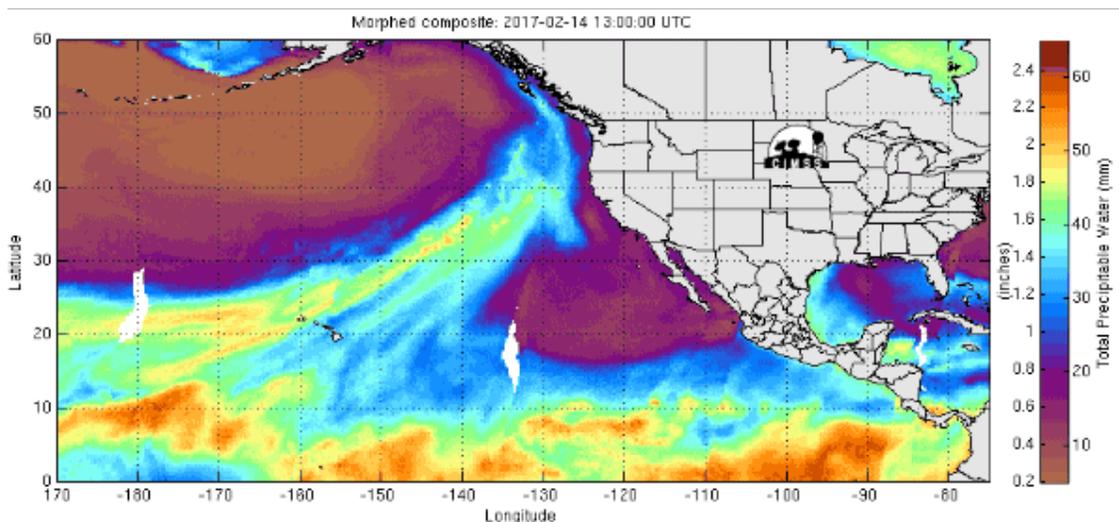
Leprince et al., 2007



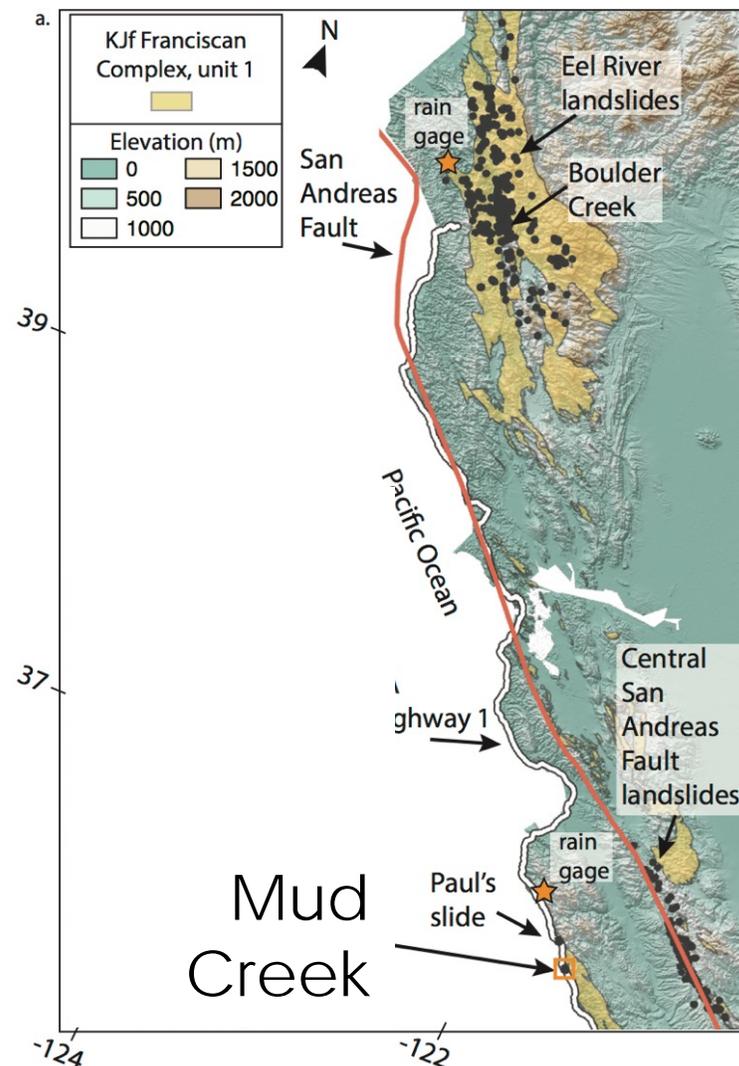
Ejemplos de InSAR:
Deslizamientos en California, Oregón y
Colorado

Derrumbes en California

- Deslizamientos en la Serranía Costera de California:
 - Las Unidades Litológicas Complejas Franciscanas son rocas débiles propensas a deslizamientos o derrumbes
 - La actividad tectónica a lo largo del borde de la placa genera montañas
 - Gran cantidad de lluvia estacional



Fuente (izq.): Credit: *Nature Geoscience* (2017). DOI: [10.1038/ngeo2894](https://doi.org/10.1038/ngeo2894); (der.) Handwerger et al., *Scientific Reports* (2019)



NASA/JPL Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar (UAVSAR) (SAR de Vehículo Aéreo No Tripulado)

- NASA Gulfstream III
- SAR de alta resolución
 - (0,6 m a lo largo de la dirección de vuelo, 1,6m en la dirección del look)

Procesamiento de SAR e inversión de series temporales

- InSAR Scientific Computing Environment (ISCE) (Rosen et al., 2012)
- Generic InSAR Analysis Toolbox (GIAnt) (Agram et al., 2013)
 - Método Small Baseline Subset (SBAS) (Schmidt and Bürgmann, 2003)

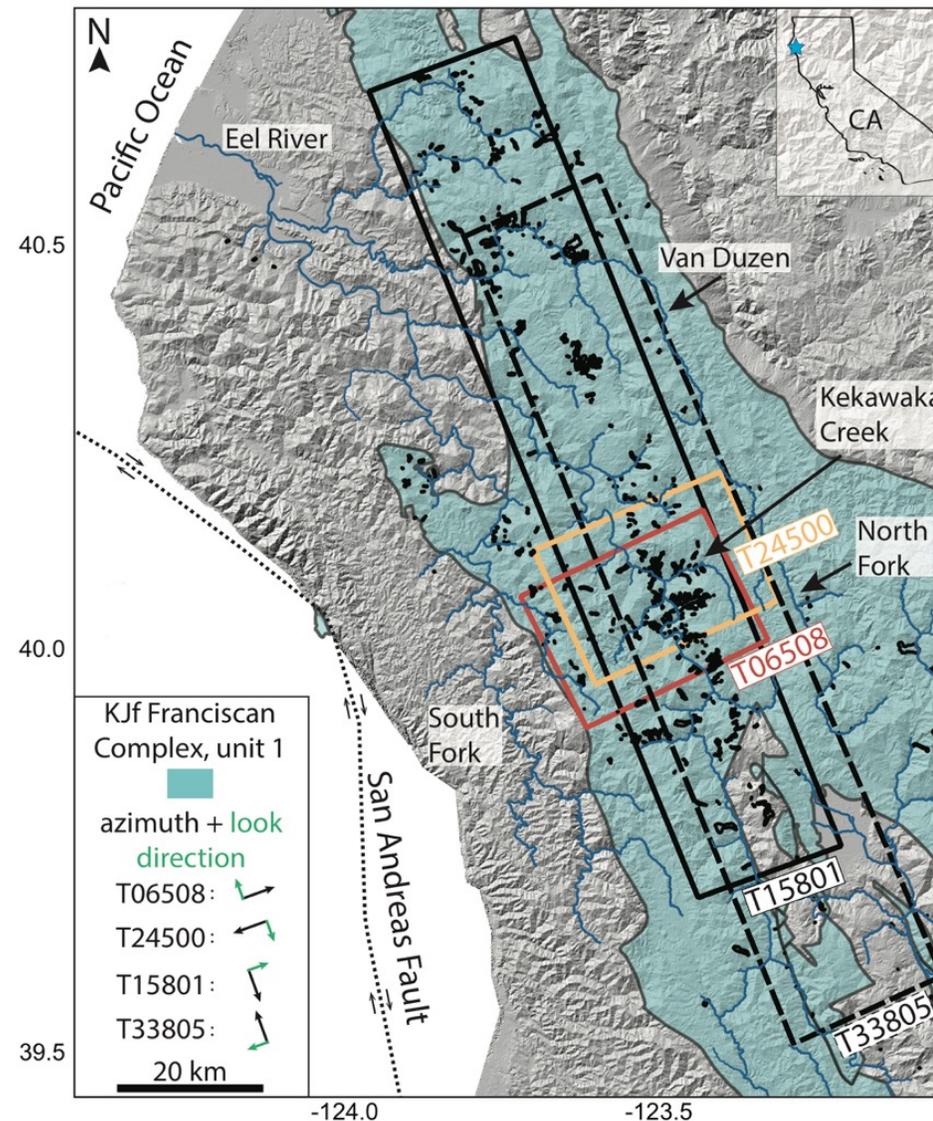


Deslizamientos en el Norte de California

- Centenares de deslizamientos activos en la zona de captura del río Eel
- Vuelos de UAVSAR en 4 líneas
- Las líneas de vuelo fueron perpendiculares para obtener desplazamientos superficiales tridimensionales
- 11 conjuntos de vuelos entre abril de 2016 a mayo de 2019

Handwerger, A. L., E. J. Fielding, M. H. Huang, G. L. Bennett, C. Liang, and W. H. Schulz (2019), Widespread Initiation, Reactivation, and Acceleration of Landslides in the Northern California Coast Ranges due to Extreme Rainfall, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(7), 1782-1797, doi:10.1029/2019jf005035.

Handwerger et al., JGR (2019)



Resultados de UAVSAR sobre el Río Eel

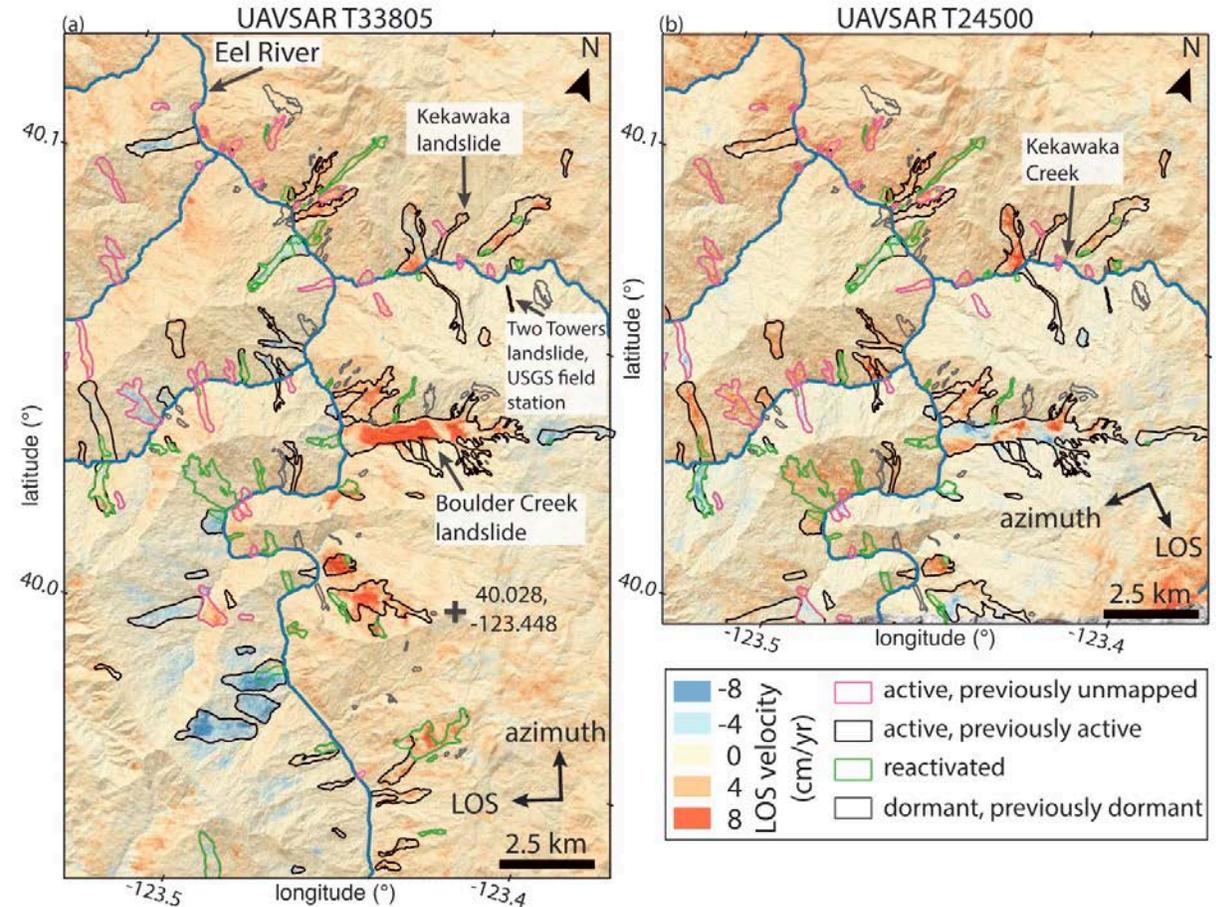
Identificación de deslizamientos

- Señal sobre deformación
- Inventarios previamente publicados
- Morfología de los deslizamientos (DEMs)
- Movimiento cuesta abajo
- Google Earth

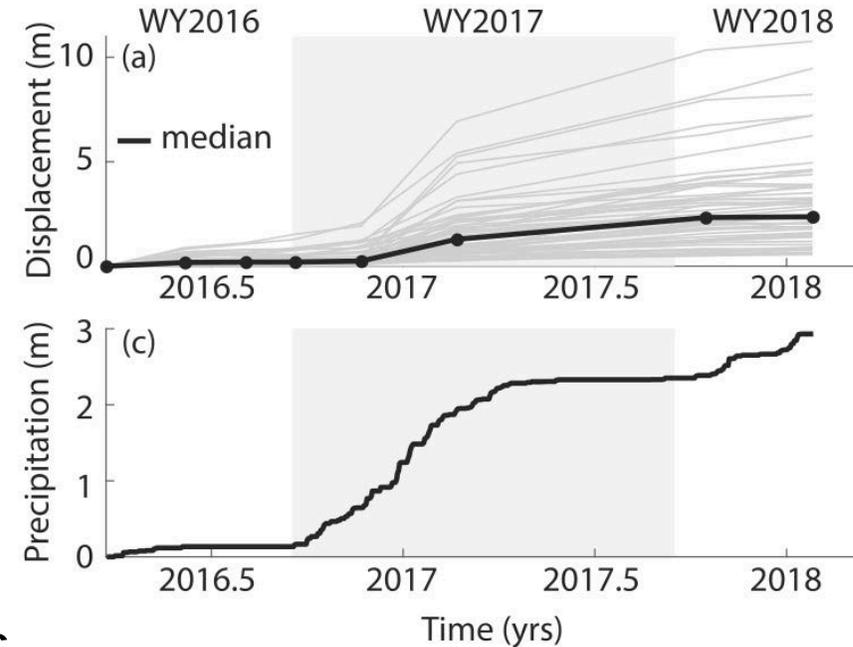
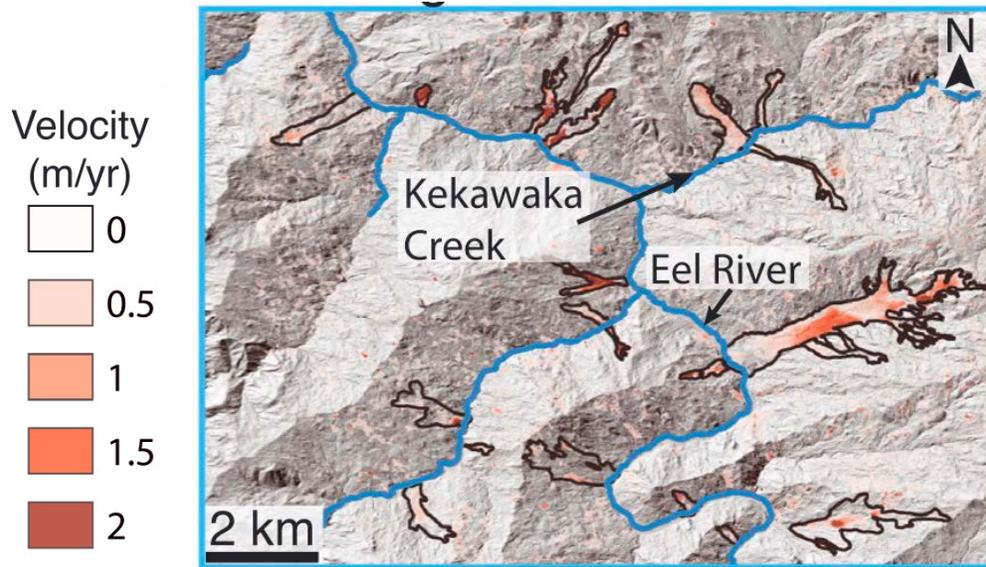
Inventario de derrumbes

- 312 deslizamientos entre abril de 2016 y febrero de 2018
- 102 deslizamientos no mapeados anteriormente (es decir, nuevos o reactivados)

Handwerger et al., JGR (2019)



Resultados de UAVSAR sobre el Río Eel



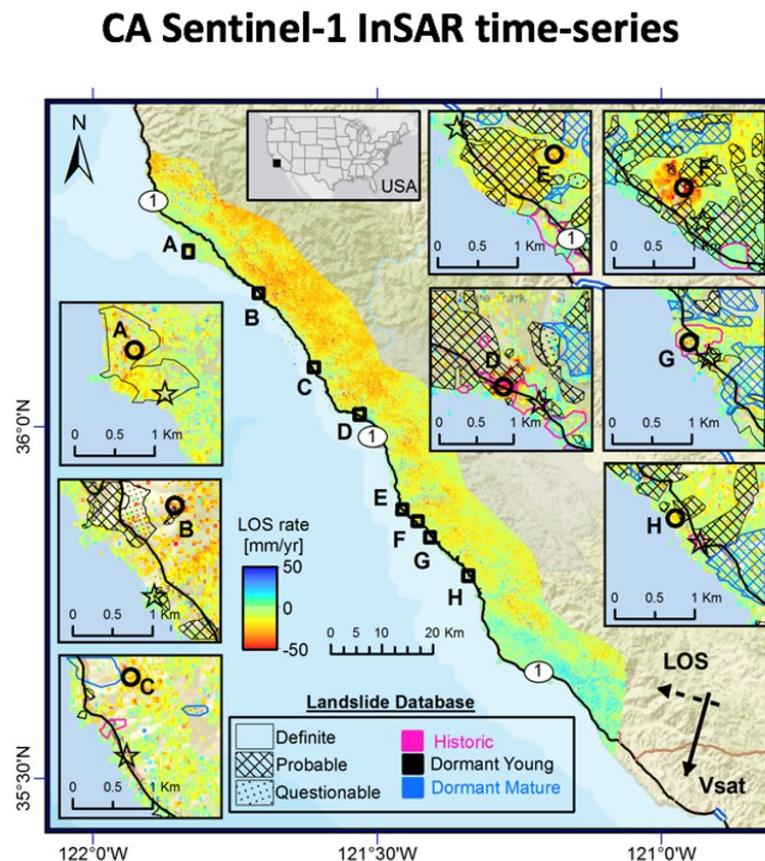
Seguimiento de desplazamiento de píxeles

- Se midió el desplazamiento horizontal a partir del desplazamiento de píxeles
- Se analizaron series temporales de desplazamiento
- El desplazamiento estacional fue impulsado por las lluvias

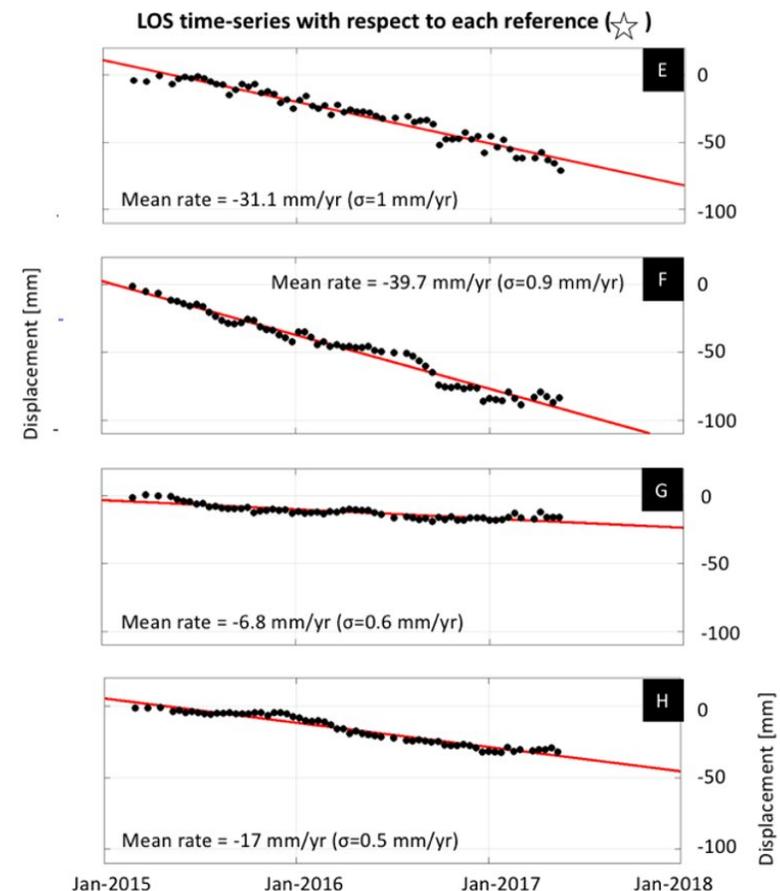
Handwerger et al., JGR (2019)

Deslizamientos en el Centro de California

- Datos de Sentinel-1 A/B
- Docenas de deslizamientos activos a lo largo de la costa central de California



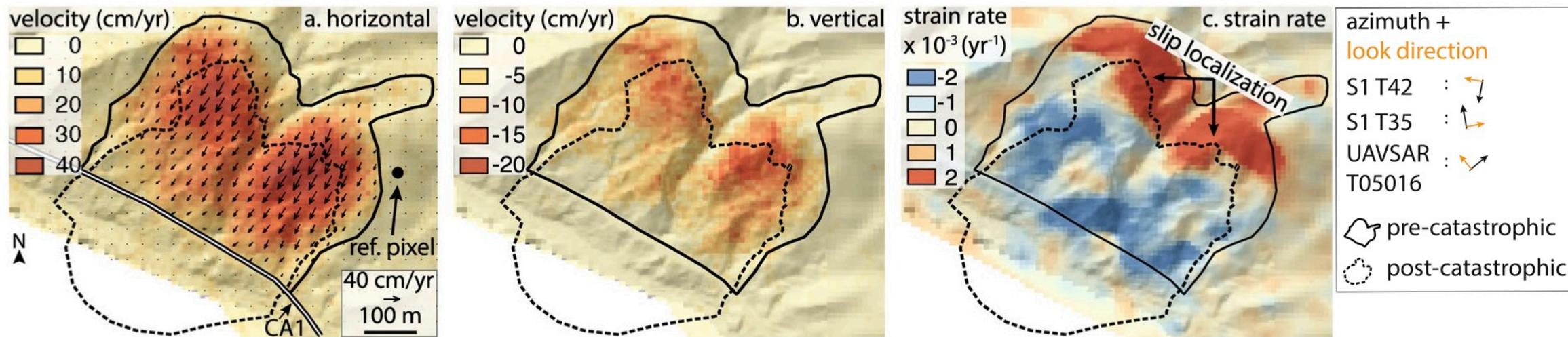
Sentinel-1 available for free under Copernicus program



Diapositiva de David Bekaert, P. Agram, H. Fattahi (JPL)

Deslizamientos en el Centro de California

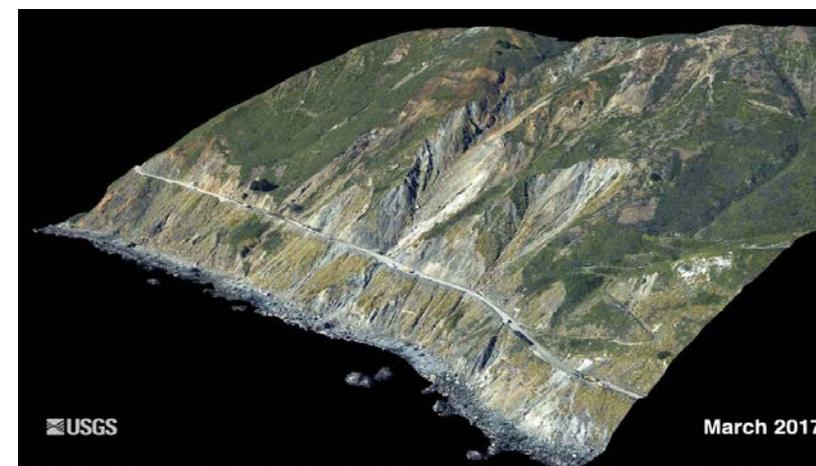
Average velocity and strain rate (2009 - 2017) of Mud Creek landslide, CA



Deslizamiento de Mud Creek

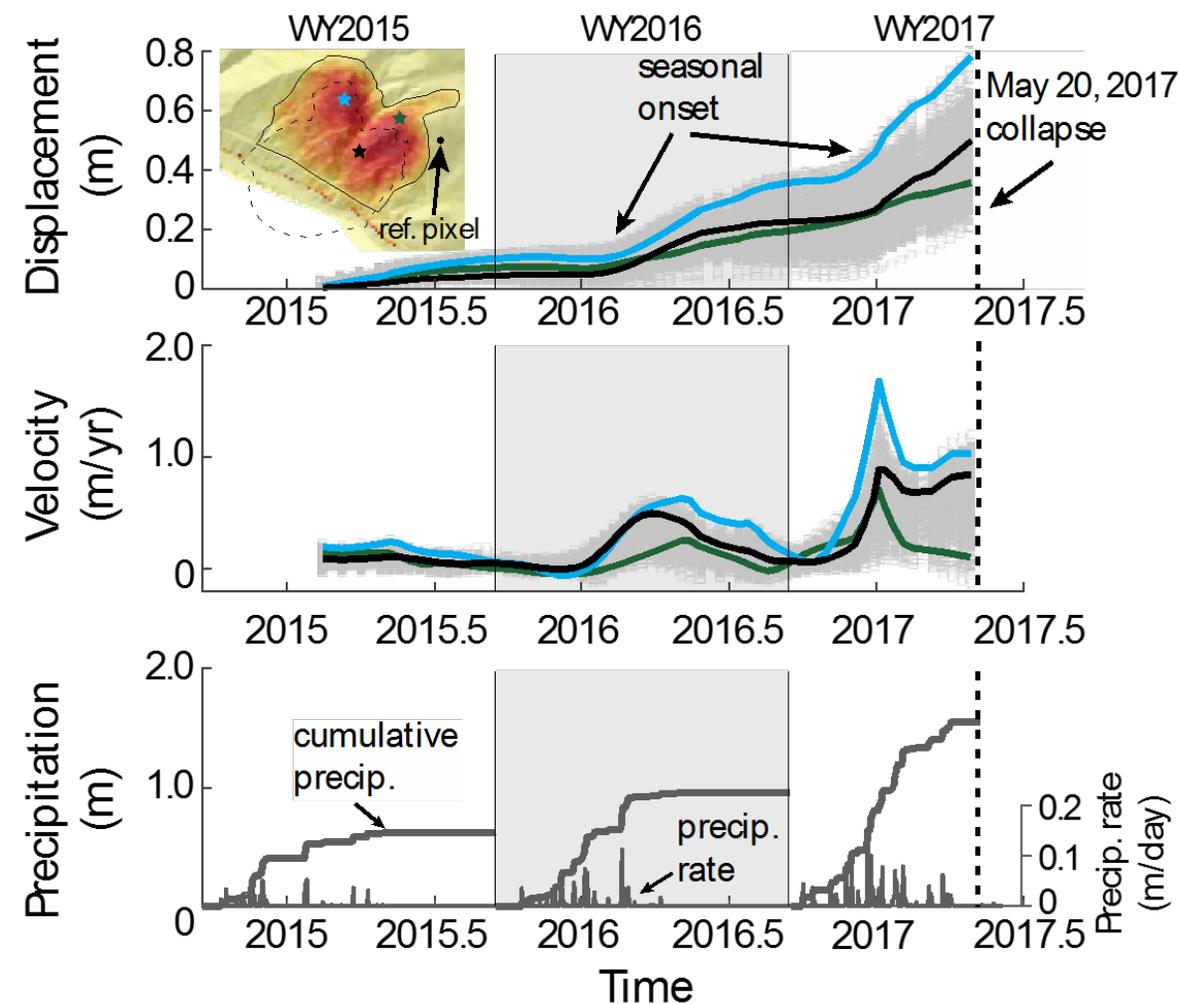
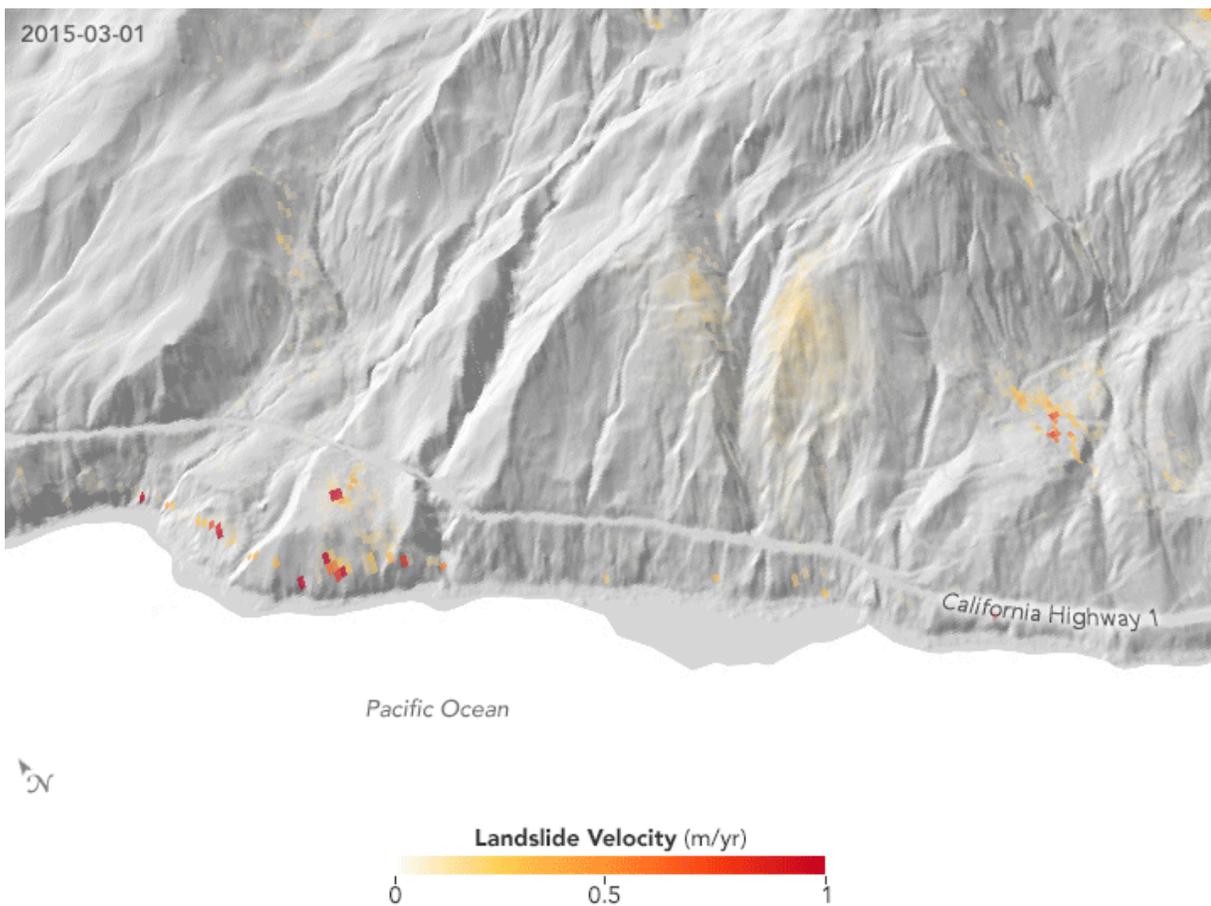
- Falló de manera catastrófica el 20 de mayo de 2017
- Las reparaciones costaron ~USD 54 millones
- Se combinaron datos de Sentinel-1 y UAVSAR para calcular el desplazamiento tridimensional

Sup.: Handwerger et al., Scientific Reports (2019); Inf.: Warrick et al. 2019, <https://walrus.wr.usgs.gov/remote-sensing/>



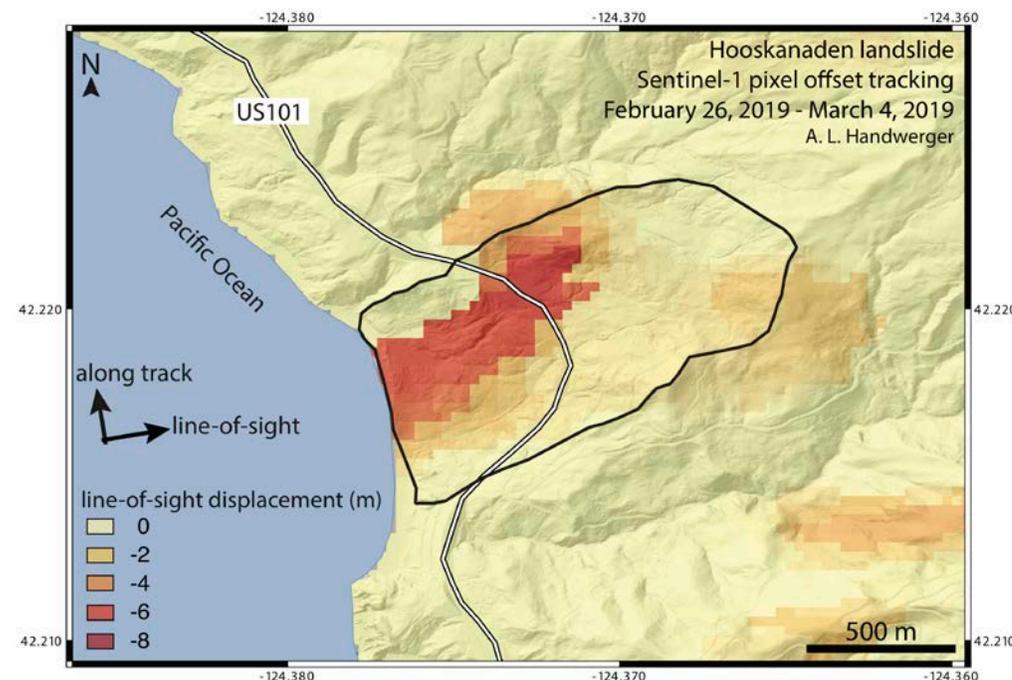
Deslizamientos en en Centro de California

Deslizamiento de Mud Creek



(Izq.) Serie Temporal InSAR de Sentinel 1; (Der.) Handwerger et al., Scientific Reports (2019)

Deslizamientos en la Costa de Oregón



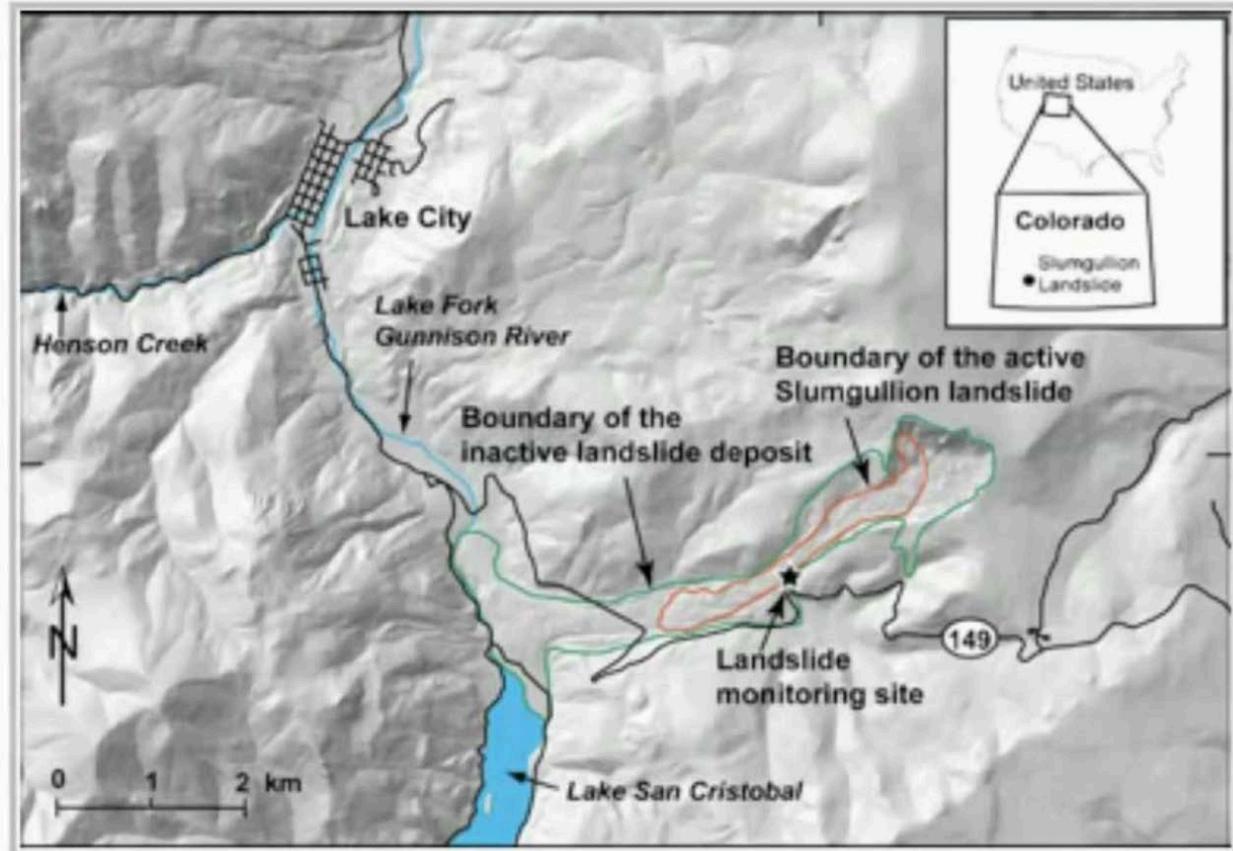
Deslizamiento de Hooskanaden

- Destruyó la carretera estadounidense 101 cerca de Brookings, Oregón
- Seguimiento de pixeles con datos SAR de Sentinel-1 SAR
- ~6 metros de desplazamiento en la dirección de la línea visual entre el 26 de febrero y el 4 de marzo de 2019

(Iza.) Tidewater photo via ODOT del 3 mar. 2019

Deslizamiento de Slumgullion en Colorado

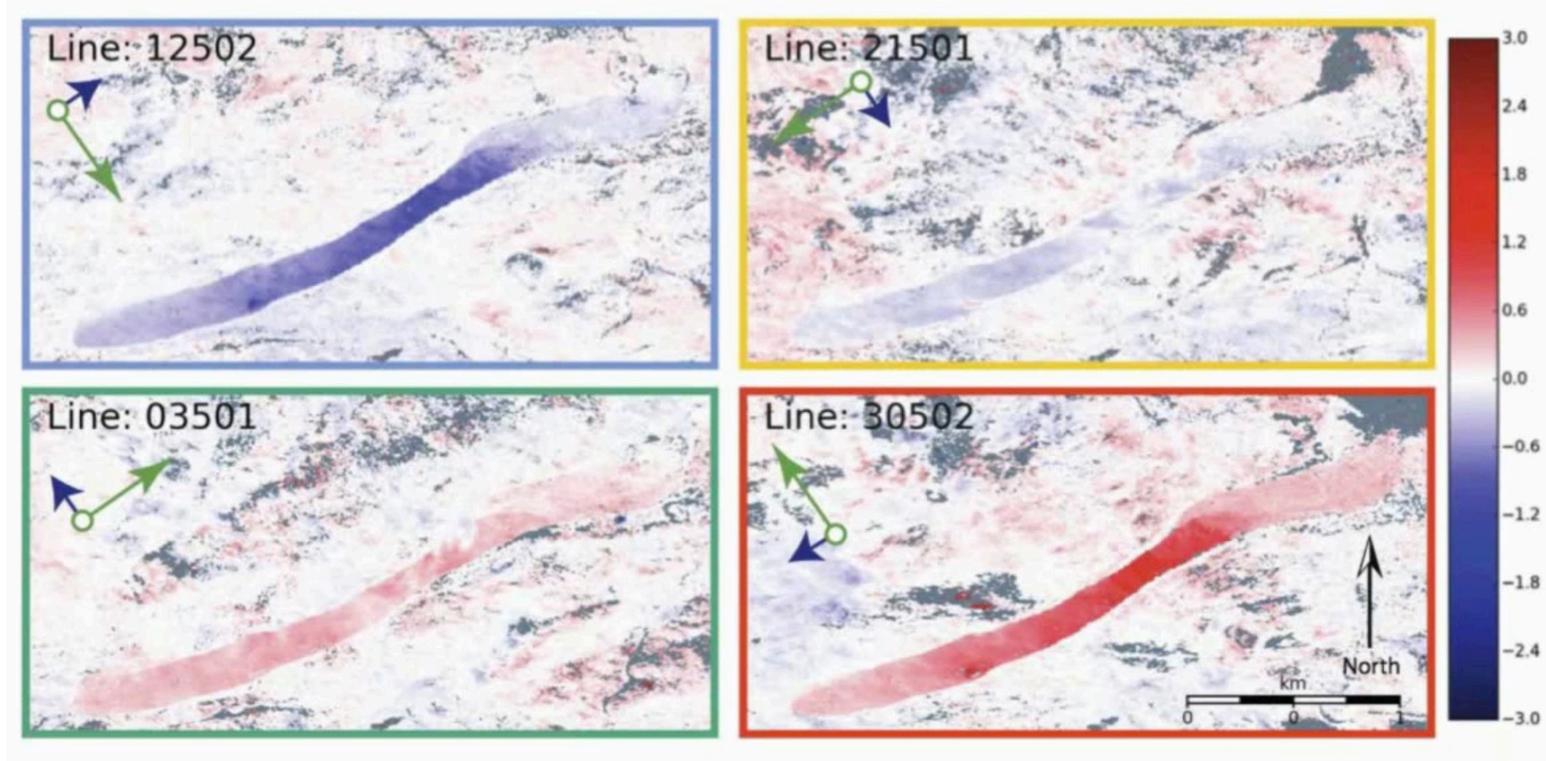
- Deslizamiento Activo de Slumgullion:
- Velocidad Pico: 1-2 cm/día
- Promedio de la Pendiente: 8 grados
- Largo: 3.9 km
- Grueso: ~300m
- Profundidad: ~14m
- Volumen: $20 \times 10^6 \text{ m}^2$



Source: Shulz et al., 2019

Interferogramas de Banda-L de UAVSAR de Slumgullion

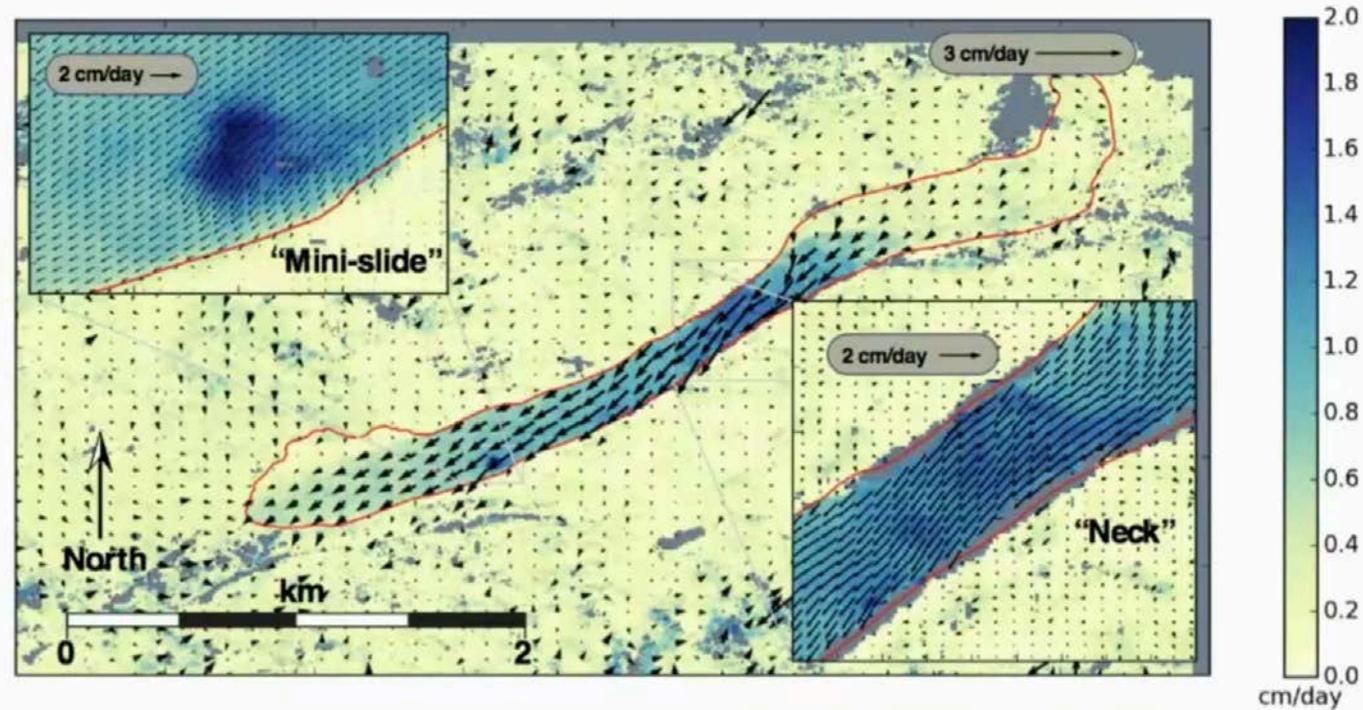
- Cuatro direcciones de vuelo (flechas verdes)
- Cuatro líneas de observación (flechas azules)
- Abril 16 y 23 de 2012
- Velocidad en cm/día



Source: Shulz et al., 2019

Slumgullion: Desplazamiento en 3 Dimensiones

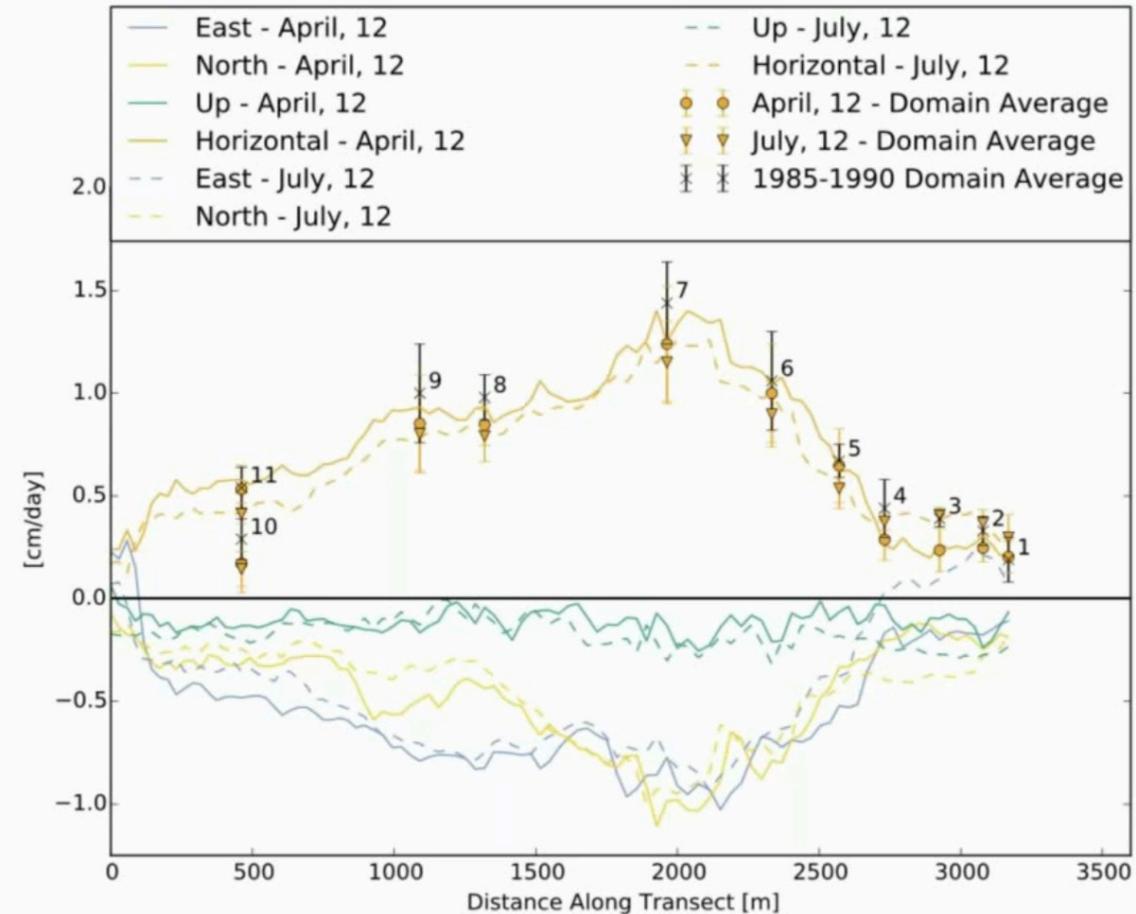
- Combinación de cuatro interferogramas de UAVSAR de 7 días
- Desplazamiento de la superficie en 3 dimensiones
- Convertido a velocidad en cm/día
- El componente horizontal está ilustrado con colores y vectores
- Paralelo a los deslizamientos excepto el mini deslizamiento que ocurrió sobre el



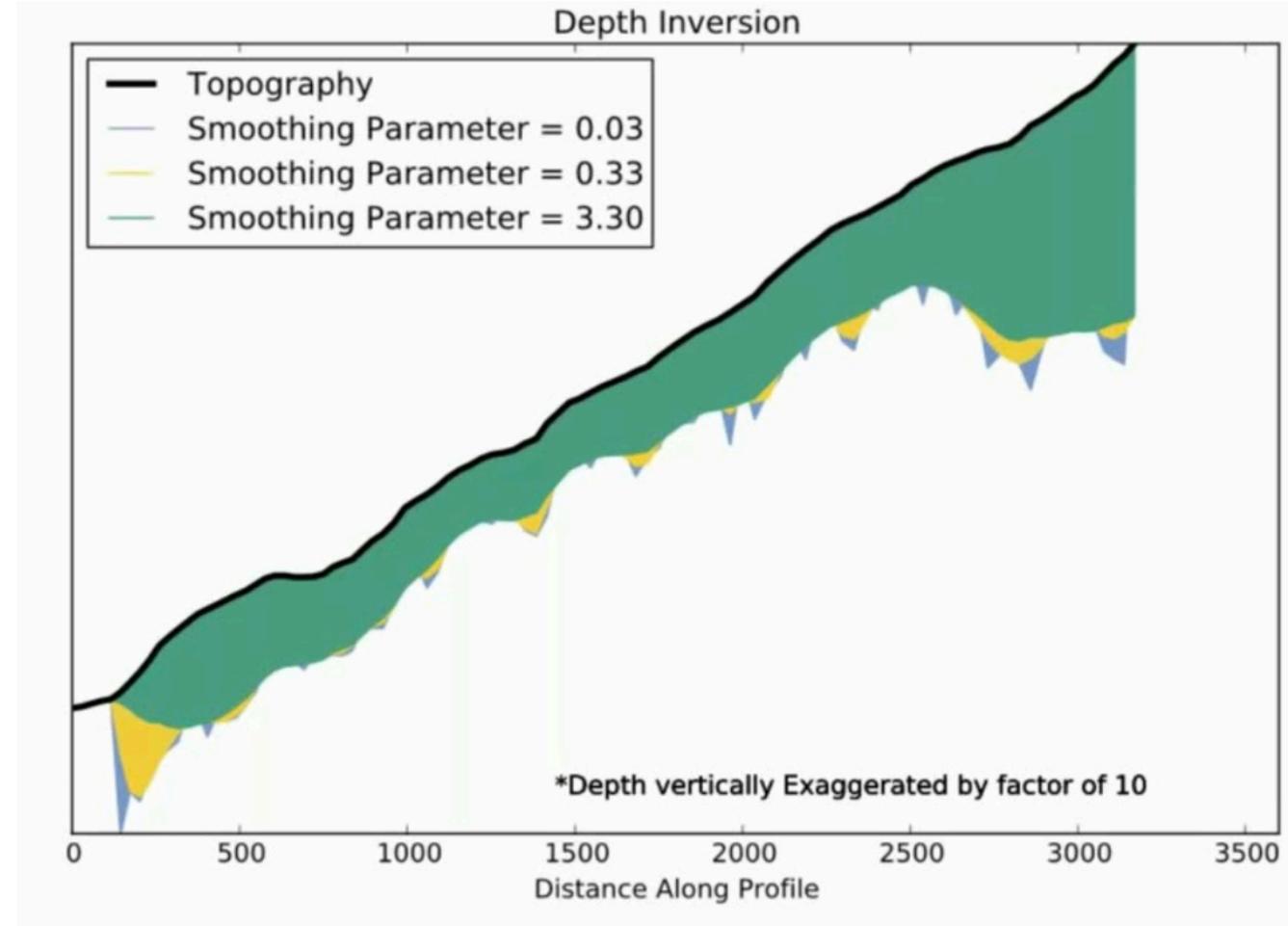
Delbridge, B. G., R. Bürgmann, E. Fielding, S. Hensley, and W. H. Schulz (2016), 3D surface deformation derived from airborne interferometric UAVSAR: Application to the Slumgullion Landslide, *Journal of Geophysical Research*, 121(5),

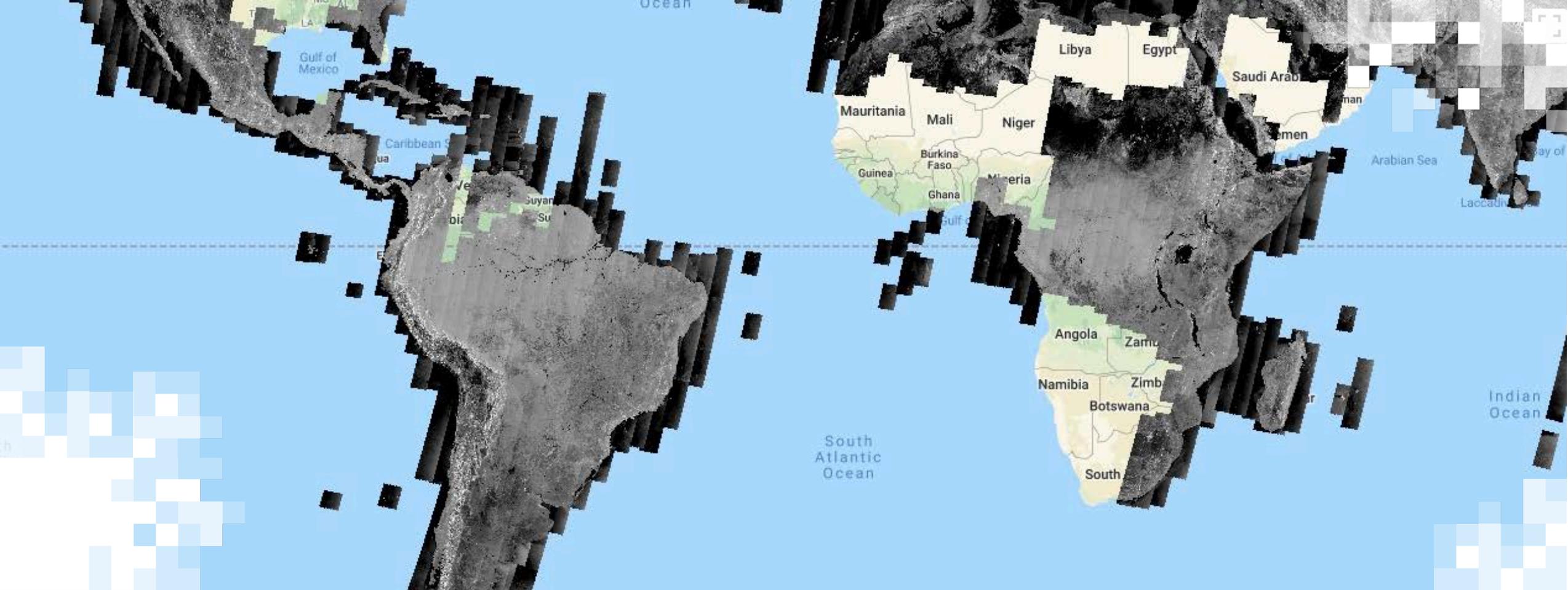
Slumgullion: Calculación del Ancho del Deslizamiento

Perfil de Velocidad



Geometría Basal





Datos SAR para Deslizamientos

Satélites de SAR

Satélites de SAR	En Operación	Ciclo de Repetición (días)	Longitud de Onda (cm)
ERS-1 ERS-2 (Europa)	1992 – 2000 1995–2001 (–2011 limitada)	35 (1, 3, 183)	6
Radarsat-1 (Canadá)	1995-2013	24	6
Envisat (Europa)	2003 – Sep 2010 Oct 2010 – Abr b012	35 30	6
ALOS (Japón)	Jan 2006 – Abr 2011	46	24
Terra SAR-X TanDEM-X (Alemania)	2007 – actualidad 2010 – actualidad	11	3
Constelación COSMO-SkyMed (Italia)	2007 – actualidad	16 (1, 4, 7, 8)	3
Radarsat-2 (Canadá)	Dic 2007 - actualidad	24	6

Nuevos Satelites con SAR

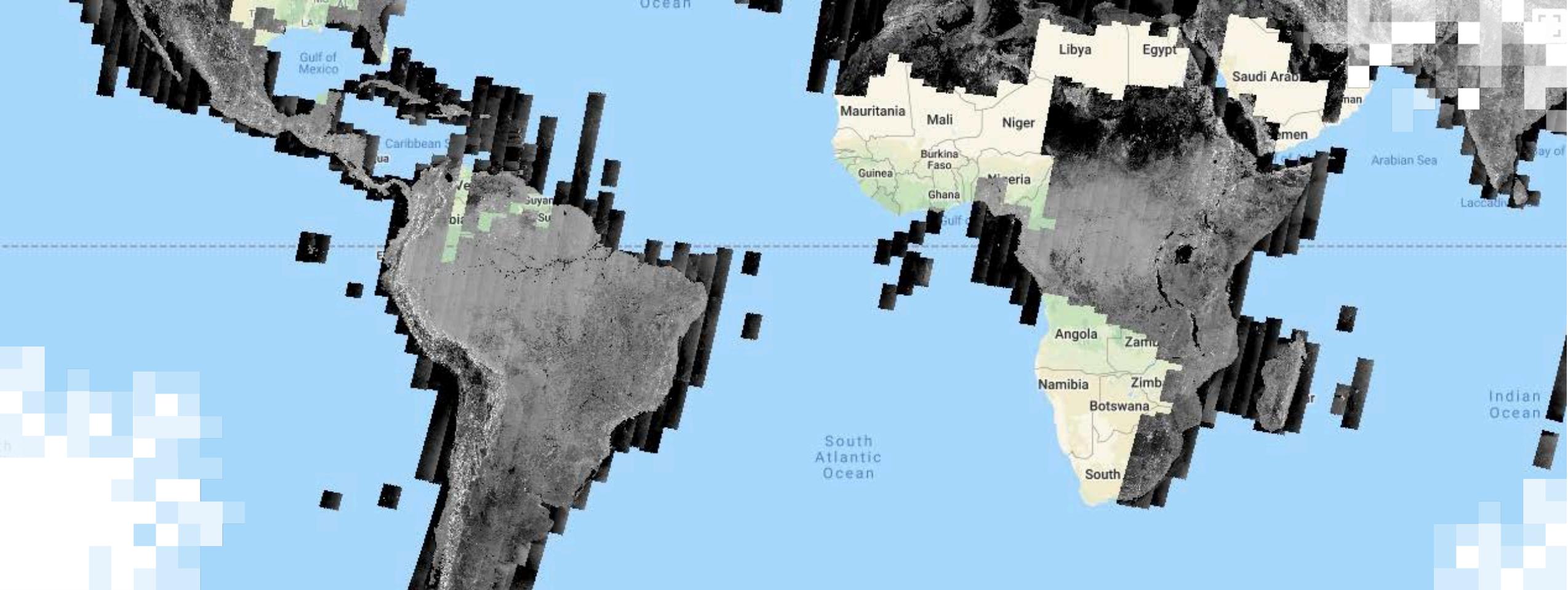
Satélites (lanzados o planificados))	Ciclo de Repetición (días)	Longitud de Onda (cm)
Sentinel-1 (A: Abr 2014, B: Abr. 2016) Europa	A: 12, B: 6	6
ALOS-2 (Mayo 2014) Japón	14	24
RISAT-1 (Abr 2012) India	25	6
Misión NASA-ISRO SAR (NISAR) (Ene 2022)	12	12, 24

Misión NASA-ISRO SAR (NISAR)

- Resolución espacial alta con tiempo de revisita frecuente
- Lanzamiento: 2022
- SAR de frecuencia dual de banda-L y banda-S
 - SAR de banda-L de la NASA y SAR banda-S de la ISRO
- 3 años de operaciones científicas (más de cinco años de consumibles)
- Todos los datos científicos serán gratuitos y puestos a libre disposición
- <https://nisar.jpl.nasa.gov>

Diapositiva cortesía de Paul Rosen (JPL)

NISAR Characteristic:	Would Enable:
L-band (24 cm wavelength)	Low temporal decorrelation and foliage penetration
S-band (12 cm wavelength)	Sensitivity to light vegetation
SweepSAR technique with Imaging Swath >240 km	Global data collection
Polarimetry (Single/Dual/Quad)	Surface characterization and biomass estimation
12-day exact repeat	Rapid Sampling
3-10 meters mode-dependent SAR resolution	Small-scale observations
3 years since operations (5 years consumables)	Time-series analysis
Pointing control < 273 arcseconds	Deformation interferometry
Orbit control < 500 meters	Deformation interferometry
>30% observation duty cycle	Complete land/ice coverage
Left/Right pointing capability	Polar coverage, North and South
Noise Equivalent Sigma Zero \leq -23 db	Surface characterization of smooth surfaces



Cómo Acceder, Abrir y Visualizar Datos de SAR Interferométrico

Acceso a Datos de Sentinel-1 para Interferometría

1. Vaya al Alaska Satellite Facility Sentinel Data Portal: <https://search.asf.alaska.edu/>
 - **Identifique el área** (-121.463489 35.88952, -121.388017 35.88952, -121.388017 35.821763, -121.463489 35.821763) **y las fechas** (2016-04-12, 2016-05-6) de su interés (Derrumbe de Mud Creek, California, EE.UU.)
 1. Identifique imágenes de su interés (Sentinel-1 A/B)
 2. Haga clic en More>Additional Filters>File Type> "L1 Single Look Complex (SLC)"
 3. Haga clic en More>Additional Filters>Direction> "Descending"
 4. Haga clic en **Search**
 5. Seleccione el siguiente gránulo (Granule):
S1A_IW_SLC__1SSV_20160412T140755_20160412T140823_010789_0101FE_956F-SLC
 6. Descargue el producto L1 Single Look Complex (SLC) (2.01 GB)
 7. De modo similar, descargue el SLC para el Gránulo:
S1A_IW_SLC__1SSV_20160506T140756_20160506T140824_011139_010CD3_980D-SLC

Acceso a Datos de Sentinel-1 para Interferometría

The screenshot displays the NASA Earthdata ASF Data Search interface. At the top, the search criteria are: Search Type: Geographic, Dataset: Sentinel-1, Area of Interest: -121.463489 3E, Start Date: 4/12/2016, End Date: 5/6/2016. The search results show 250 of 3 Files. The main map area shows a satellite image with a red rectangular area of interest and a yellow square marker. Below the map, the search results are listed in a table:

Scene ID	Date	Icons	Count
S1A_IW_SLC_1SSV...980D	May. 6, 2016	[Map] [Shopping Cart]	1/1
S1A_IW_SLC_1SDV...3089	Apr. 24, 2016	[Map] [Shopping Cart]	0/1
S1A_IW_SLC_1SSV...956F	Apr. 12, 2016	[Map] [Shopping Cart]	1/1

The selected scene, S1A_IW_SLC_1SSV...956F, is shown in detail. It is a Sentinel-1 C-Band L1 Single Look Complex (SLC) file, 2.07 GB in size. The acquisition date is Apr. 12, 2016. The beam mode is IW, the path is 42, the frame is 472, and the flight direction is DESCENDING. The interface also includes a 'Results' dropdown, a 'Scene Detail' section, and a 'More Like This' button.

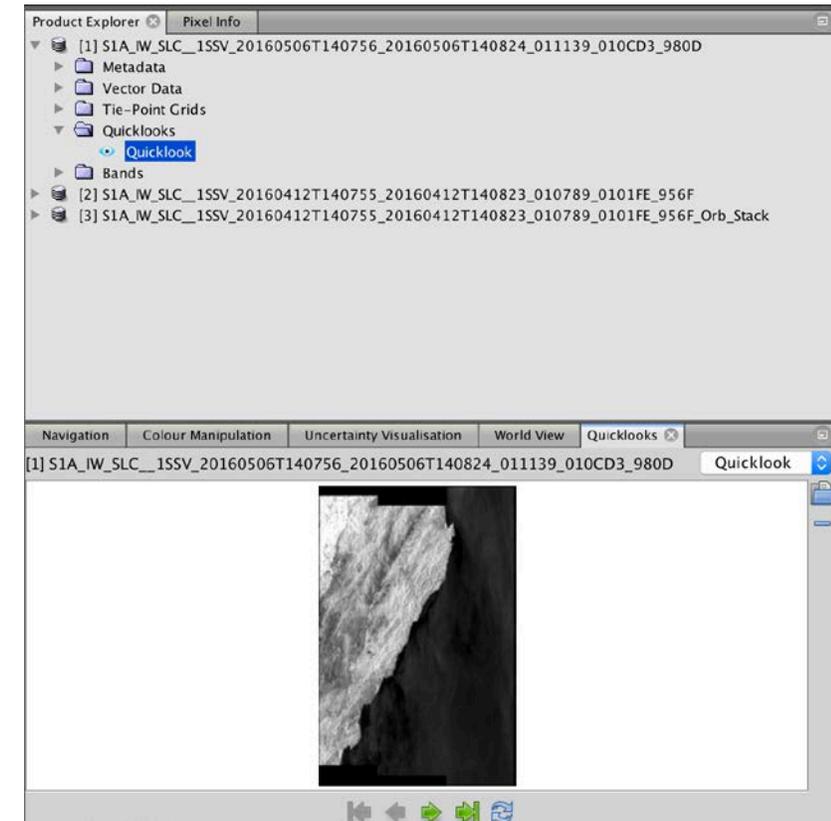
Abriendo los Datos con el Sentinel Toolbox (Caja de Herramientas)

- Inicie el Sentinel Toolbox (SNAP) haciendo clic en el icono en su escritorio
- En Sentinel Toolbox, vaya al menú de **File** y seleccione **Open Product**
- Seleccione la carpeta que contiene su archivo Sentinel-1 SLC y haga doble clic en el archivo .zip (no descomprima el archivo; el programa lo hará)

Abriendo los Datos con el Sentinel Toolbox

Los Datos SLC Tienen un Formato Diferente a los de GRDH

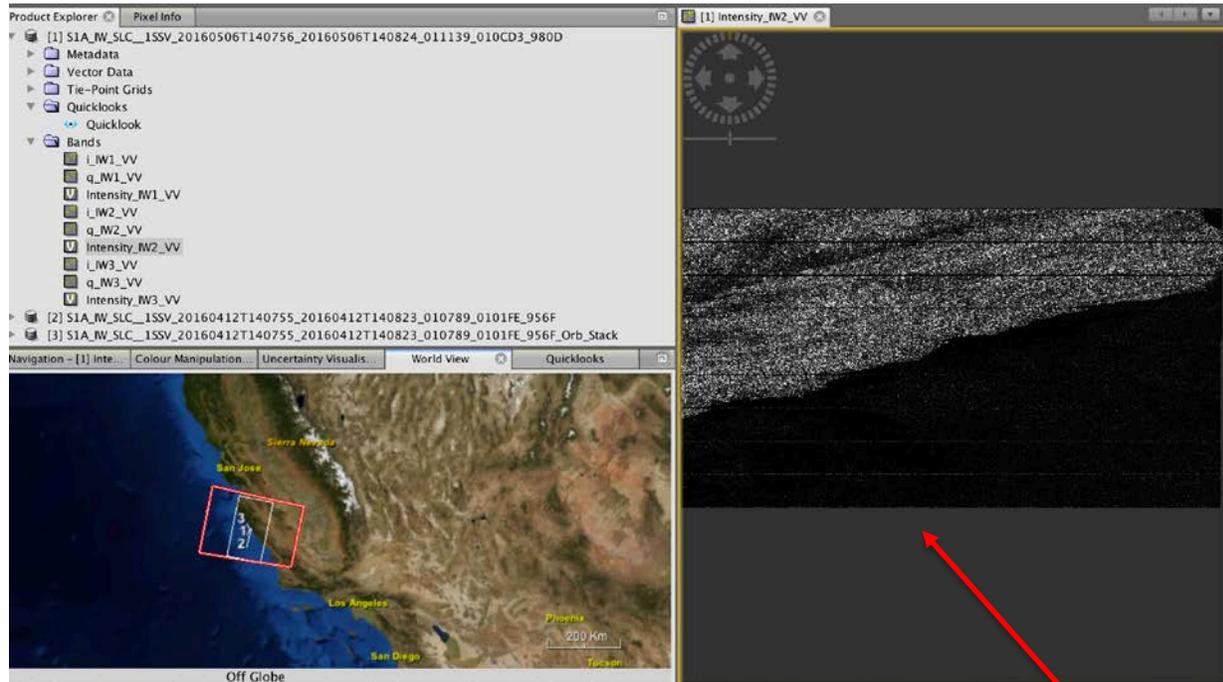
- La ventanilla Product Explorer del Sentinel Toolbox contiene su archivo.
1. Haga doble clic en el archivo para visualizar las carpetas dentro de él, las cuales contienen información relevante a la imagen, incluyendo :
 - Metadatos: parámetros relacionados con la órbita y los datos
 - Cuadrículas "Tie Point": interpolación de latitud/longitud, ángulo de incidencia etc.
 - Quicklooks: imagen revisable de toda la escena en coordenadas de radar
 - Bandas: valores complejos para cada sub-barrido "i" y "q" e intensidad (la intensidad es la amplitud al cuadrado, una banda virtual)

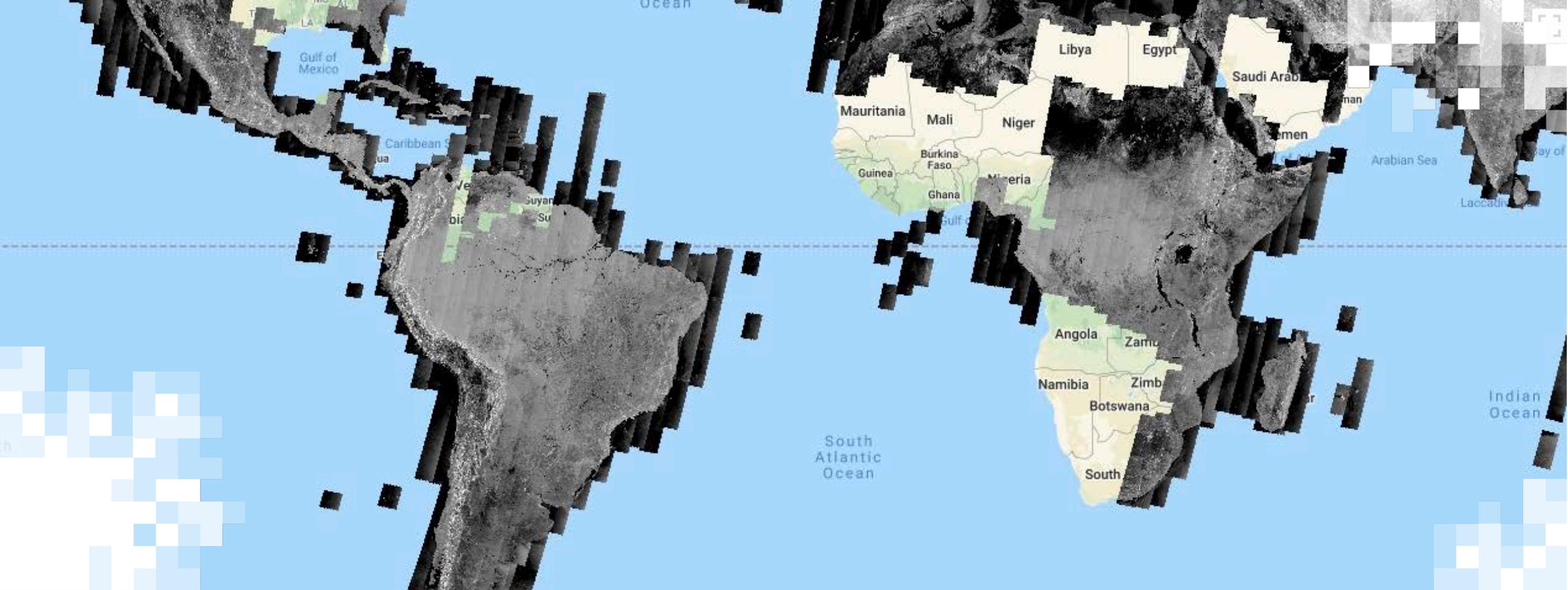


Abriendo los Datos con el Sentinel Toolbox

Visualizando Imágenes de Sub-barridos

2. La imagen de Worldview (inf. izq.) muestra la huella de la imagen entera seleccionada
3. Seleccione la imagen de intensidad para el barrido IW1 VV
 - **Nota:** Cada imagen SAR está invertida norte—sur porque está orientada de la misma manera que fue adquirida (trayectoria ascendente en este caso)



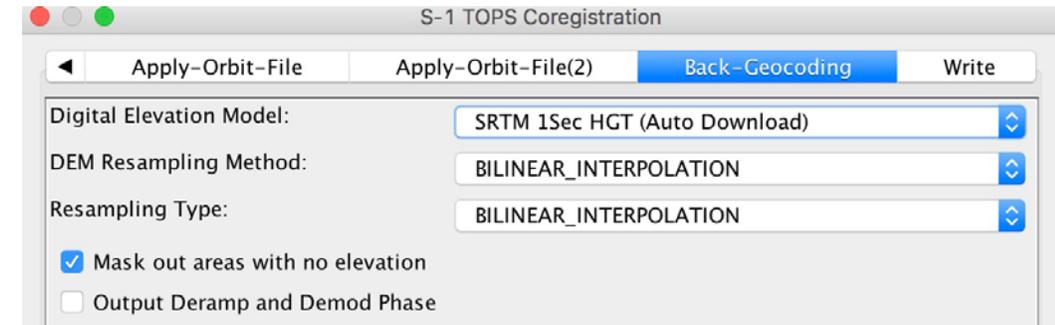
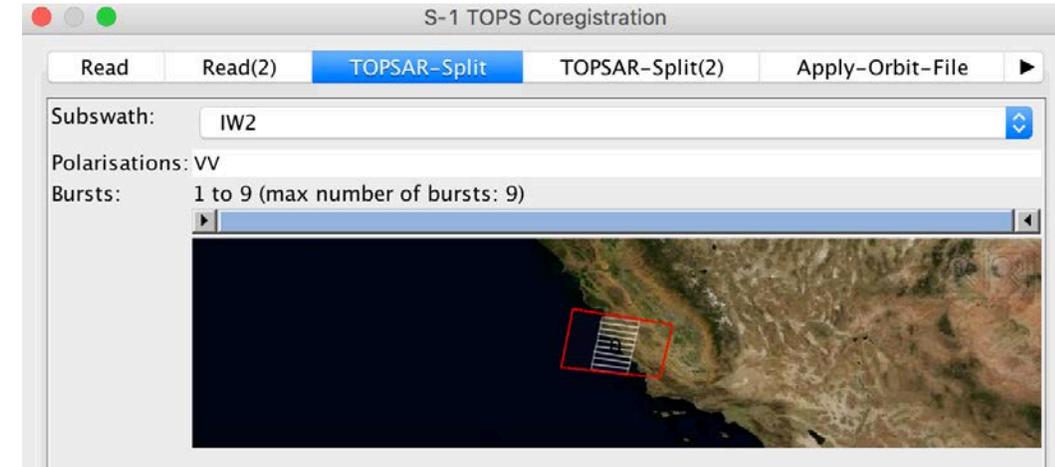


Procesamiento InSAR

Preparación de Datos Interferométricos

Corregistrando las Escenas

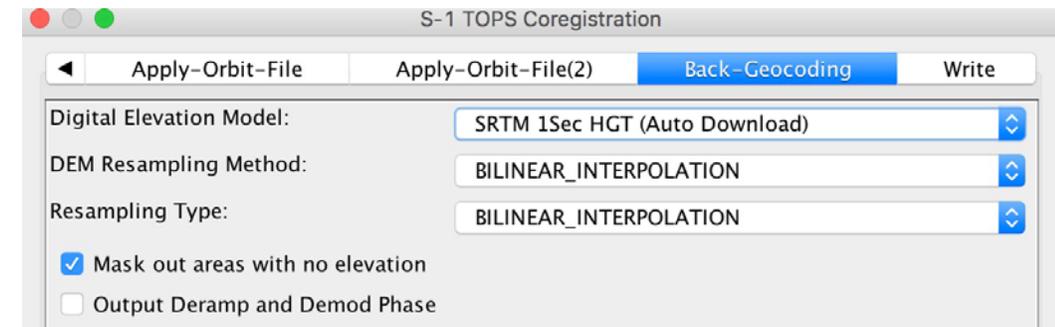
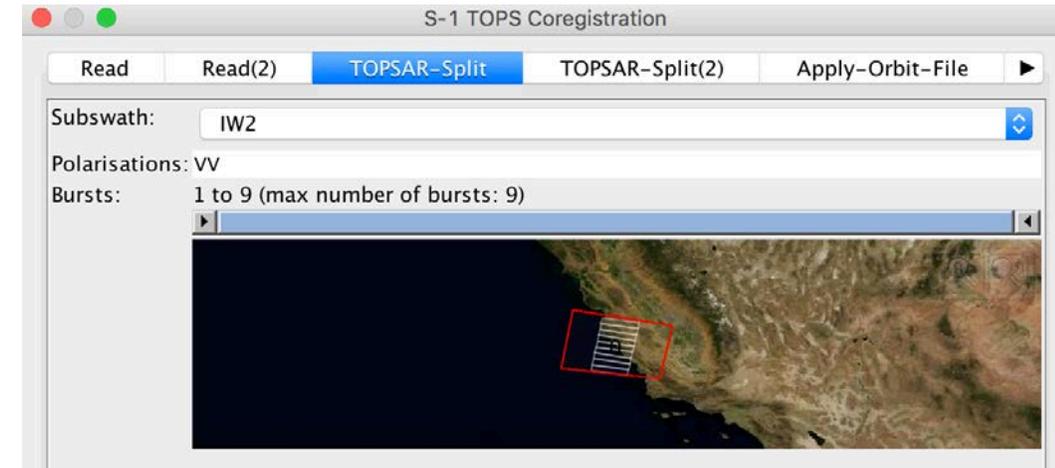
1. El primer paso de la interferometría es corregistrar dos imágenes SLC
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar > Coregistration > S1 TOPS Coregistration > S1 TOPS Coregistration** nuevamente



Preparación de Datos Interferométricos

Corregistrando las Escenas

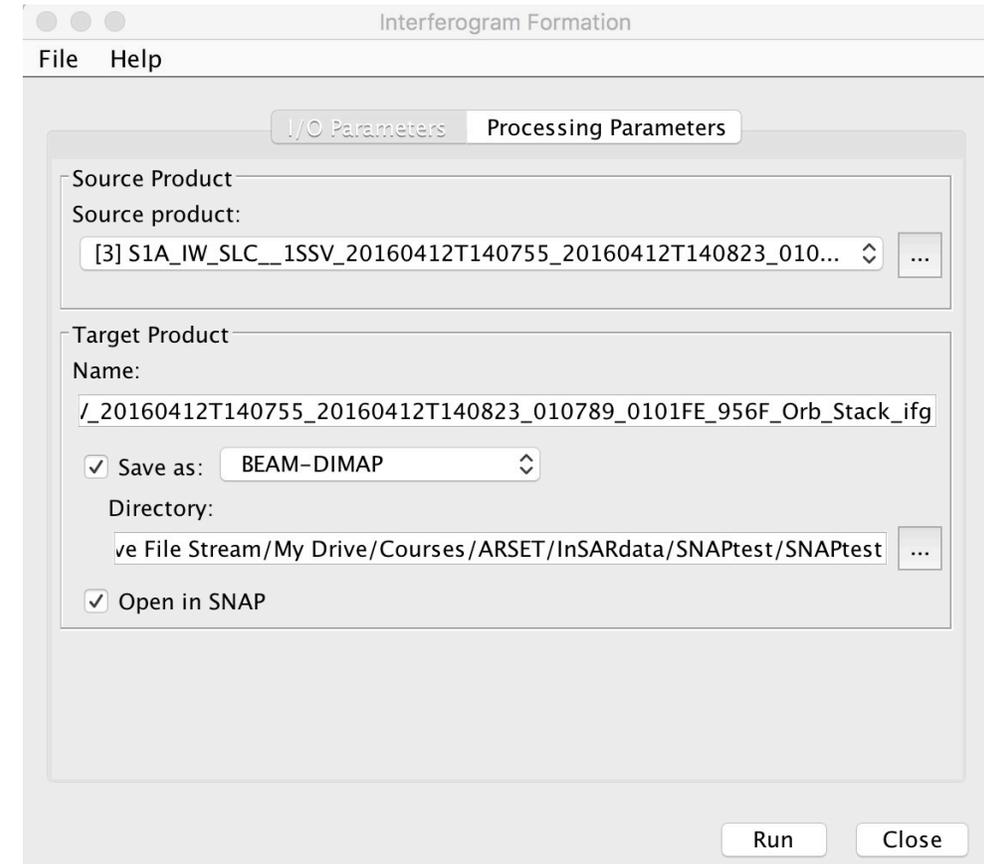
3. En la pestaña **Read**, seleccione el SLC 20160412 SLC y en la pestaña **Read(2)** seleccione el SLC 20160506
4. En las pestañas **TOPSAR-Split** y **TOPSAR-Split(2)**, seleccione Subswath: IW2
Polarisations: VV
5. En la pestaña **Back-Geocoding**- SRTM 1sec HGT (auto download)
6. En la pestaña **Write**, seleccione la carpeta donde quiere guardar los resultados de su procesamiento



Procesamiento Interferométrico

Formando un Interferograma Bruto

1. El segundo paso de la interferometría es hacer un interferograma a partir de las imágenes SLC corregistradas
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Products** y después **Interferogram Formation**
3. En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el producto "Orb_Stack" creado por el paso de corrección
 - Por defecto, el archivo de salida está en la misma carpeta y se la agrega "ifg" al nombre
 - Para un procesamiento básico, no hay necesidad de cambiar las configuraciones preprogramados en la pestaña **Processing Parameters**

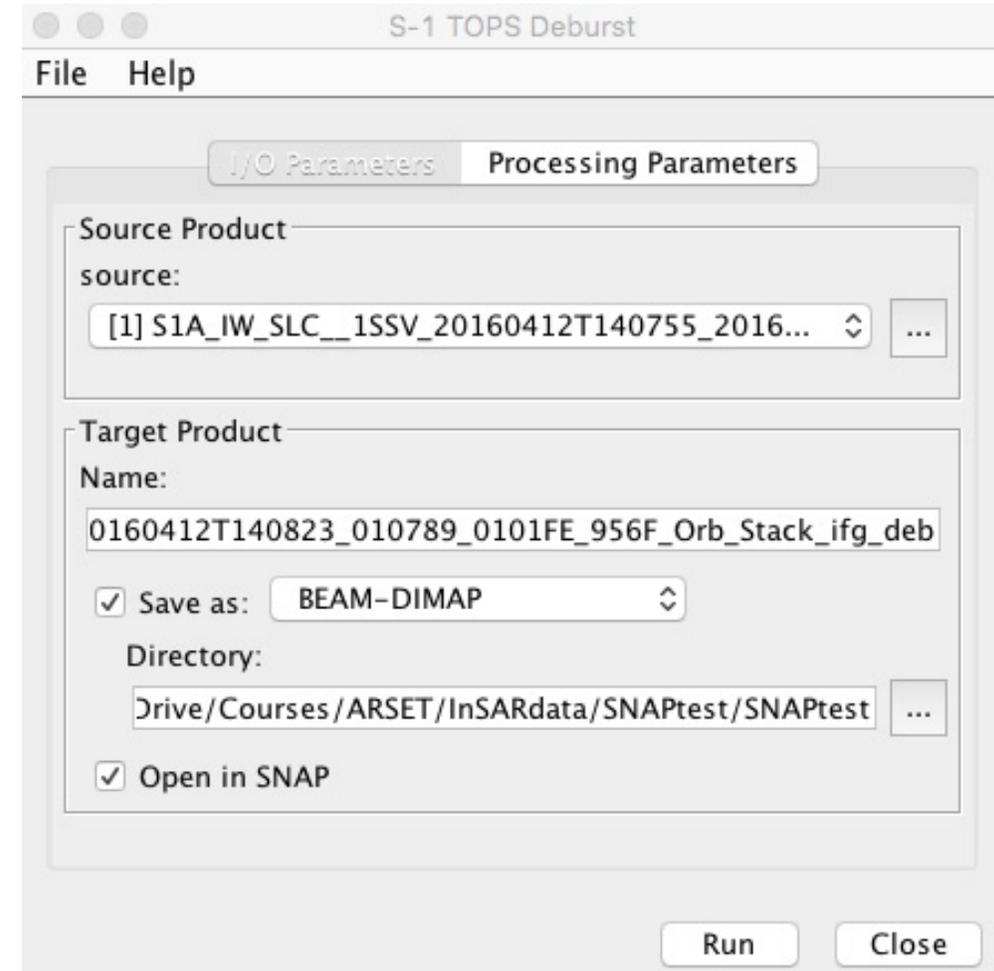


Procesamiento Interferométrico

TOPS Deburst*

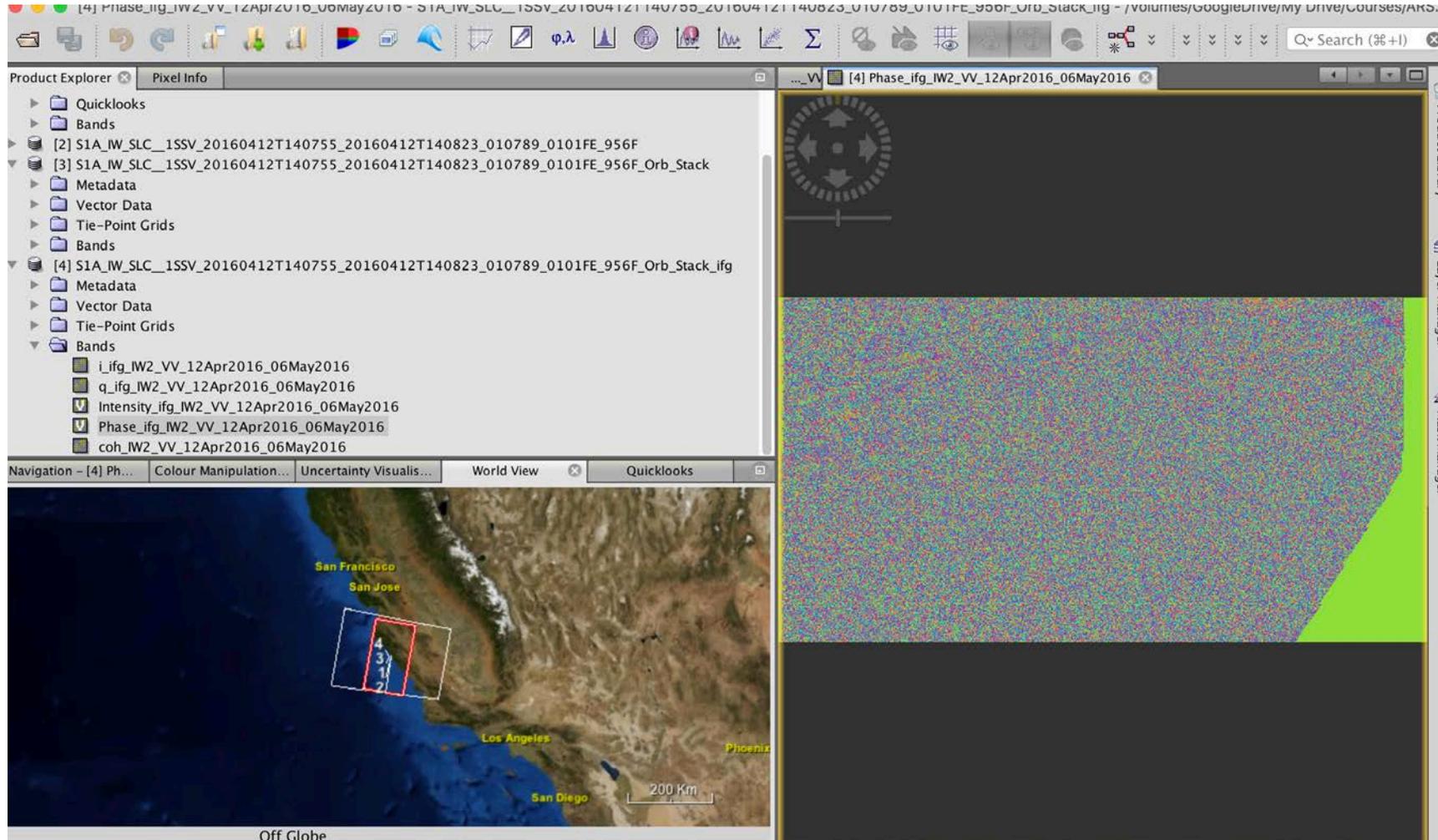
1. Combine todos los datos de las tomas (bursts) en una sola imagen, aplique el operador TOPS Deburst desde el menú Sentinel-1 TOPS.
2. En el menú de la barra superior principal, seleccione **Radar**, luego **Sentinel-1 TOPS**, luego **S1 Tops Deburst**,
3. En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el "ifg"

*El "debursting" o "deburst" es una operación que consiste en generar una imagen continua en cuanto al tiempo del azimut removiendo líneas negras de separación así como líneas redundantes entre tomas



Procesamiento Interferométrico

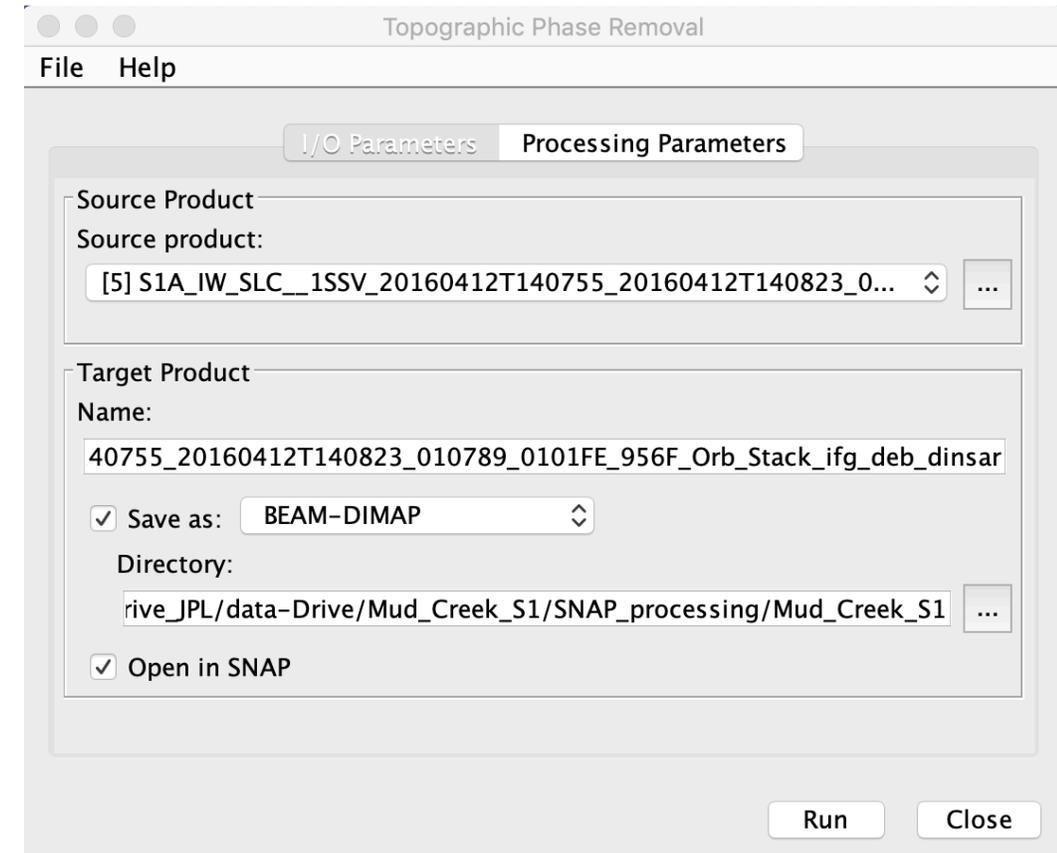
Visualizando un Interferograma Bruto — Imagen de Fase



Procesamiento Interferométrico

Remoción de la Fase Topográfica

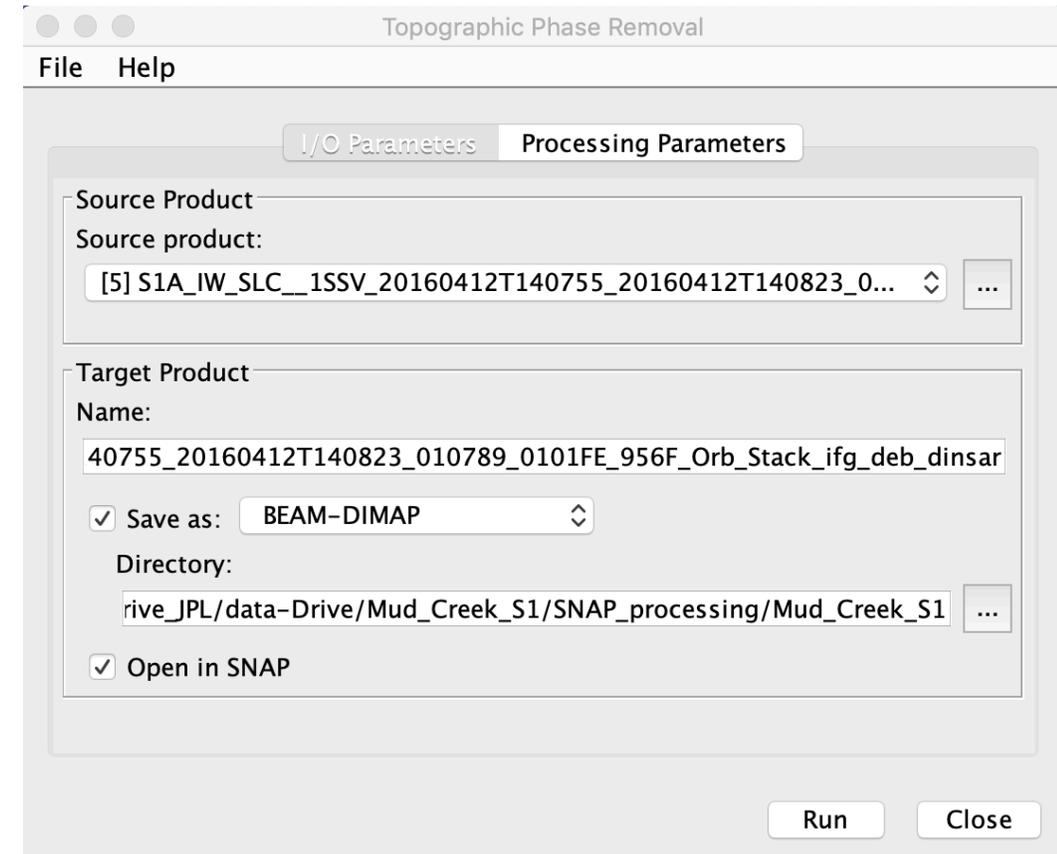
1. El siguiente paso para toda interferometría es remover la fase topográfica mediante un DEM.
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar > Interferometric > Products > Topographic Phase Removal**



Procesamiento Interferométrico

Remoción de la Fase Topográfica

- 3 En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el producto "Orb_Stack_ifg_deb" que se creó en el paso de deburst o "Stack_ifg" si no está en modo TOPS
 - Por defecto, se le agrega "dinsar" al nombre del producto de salida
 - La pestaña **Processing Parameters** muestra que la configuración preprogramada es descargar el SRTM 3-arcsecond DEM, el cual sirve para un preprocesamiento básico, pero puede que necesite el SRTM 1-arcsecond DEM para obtener una mejor resolución



Procesamiento Interferométrico

Filtración y “Multi-Looking” de Interferogramas

1. Hay dos pasos que pueden reducir el nivel de ruido en un interferograma, la filtración y el multi-looking. Primero aplicamos la filtración, pero también se puede hacer el multi-looking primero.
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Filtering**, y después **Goldstein Phase Filtering**
 - En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el producto “ifg_deb” creado en el paso anterior
 - Por defecto, al archivo de salida se le agrega “flt” al nombre
 - Para el procesamiento de derrumbes, es mejor cambiar los valores preprogramados en la pestaña **Processing Parameters**

Procesamiento Interferométrico

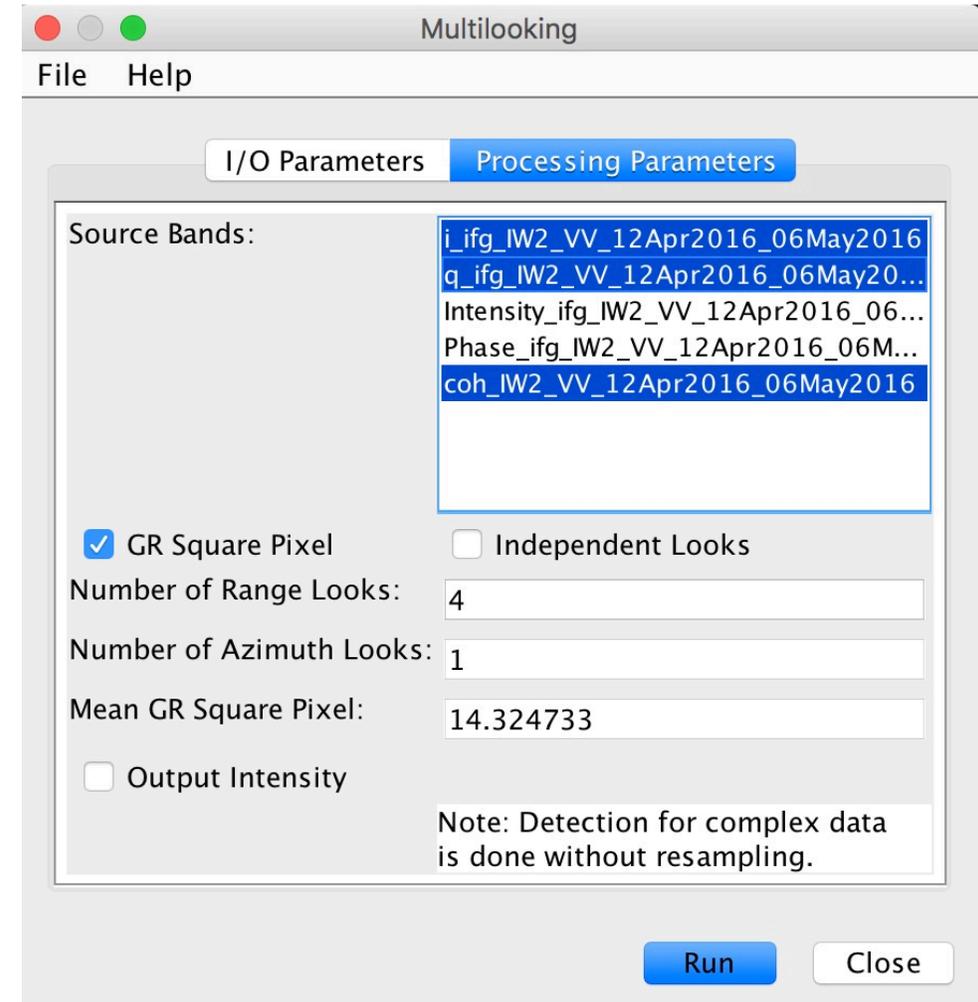
Filtración y “Multi-Looking” de Interferogramas

3. “Multi-looking” significa calcular el promedio a varios pixeles en cada dirección, lo que los ingenieros de radar llaman “darle varias miradas” o varios “looks”. El resultado son pixeles más grandes y éstos pueden reducir la cantidad de ruido de manera significativa.
 - La cantidad de multi-looking que se debe hacer depende de la resolución espacial que uno necesita y el espaciamiento de las franjas
 - Por lo general, los derrumbes son pequeños a comparación con la resolución de Sentinel-1, así que haga menos multilooking que para otros aplicaciones de InSAR

Procesamiento Interferométrico

Interferograma por Multi-Looking

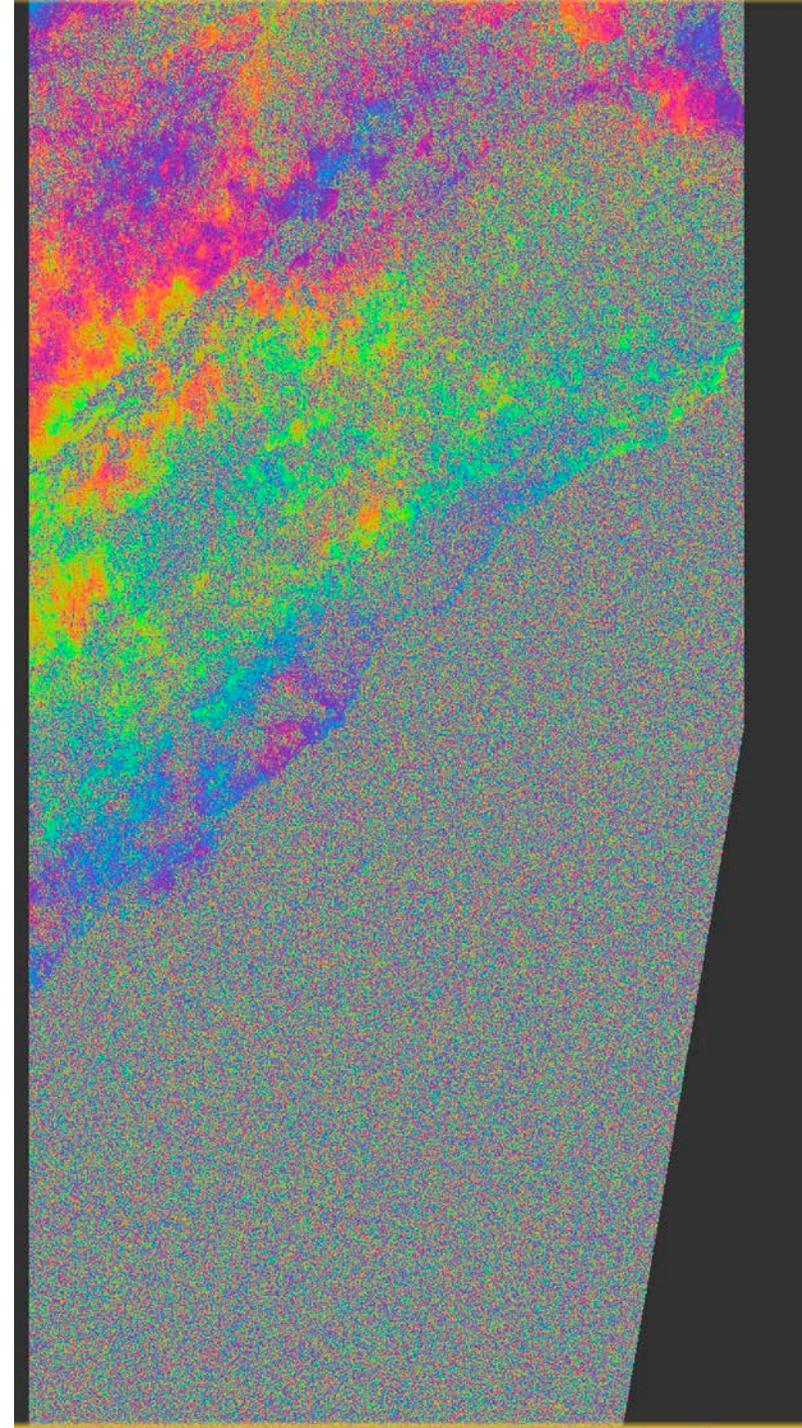
1. El derrumbe de Mud Creek mide ~500 de largo y ~500 m de ancho
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar** luego **SAR Utilities** y luego **Multilooking**
 - En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el producto "ifg_debflt" creado por el paso de filtración y por defecto al archivo de salida se le agrega "ML" al nombre
 - En la pestaña **Processing Parameters**, seleccione Source Bands "i_ifg", "q_ifg" y "coh". Para esta escena, normalmente utilizo 4 looks del rango y 1 del azimut para producir pixeles con ~14 m de resolución
 - **No seleccione las bandas "Phase" o "Intensity"!**



Procesamiento Interferométrico

Visualizando Interferogramas Multi-Look

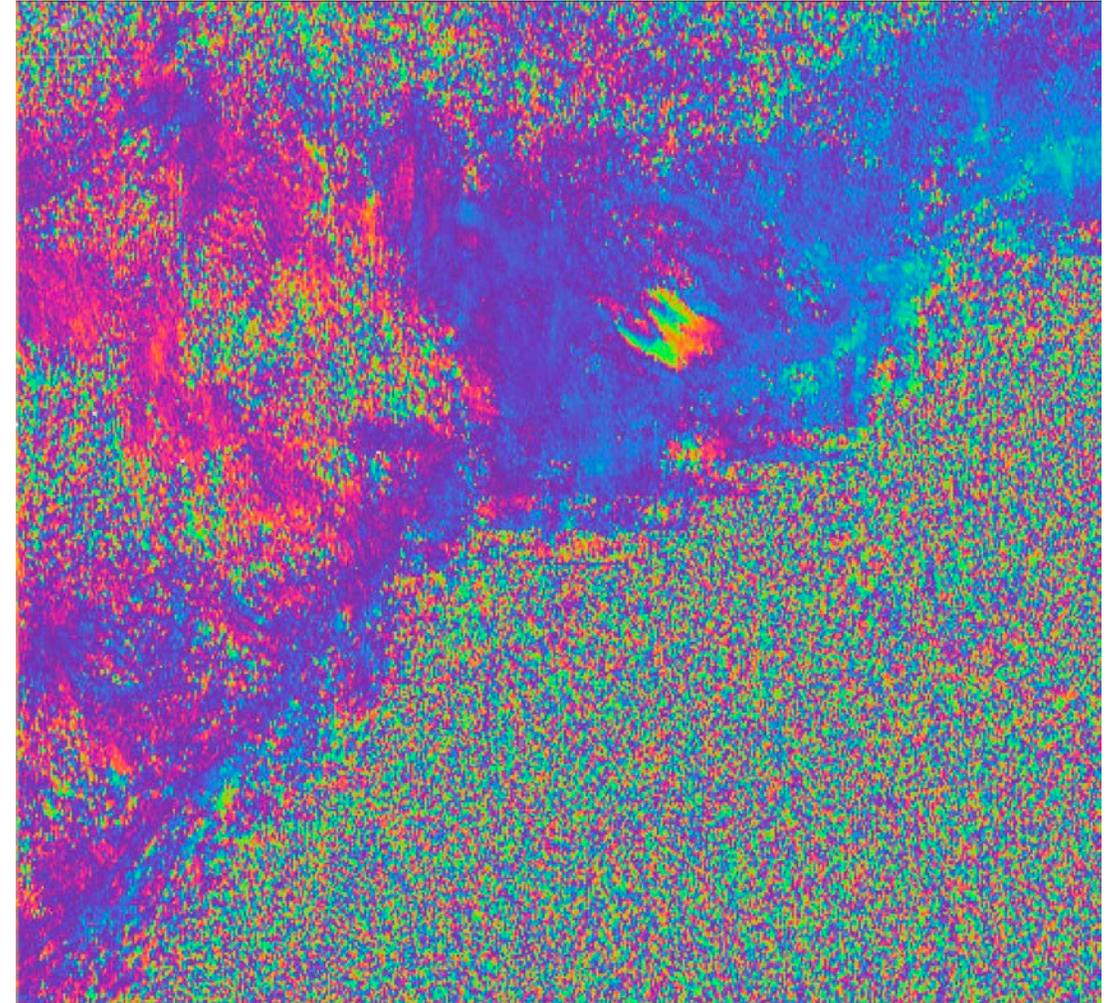
1. Primero, debemos hacer una nueva banda de fase virtual después de realizar el "multi-looking" del interferograma complejo
2. Seleccione la banda i_ifg_VV o q_ifg_VV
3. En el menú de la barra superior, seleccione **Raster**, después **Data Conversion** y luego **Complex i and q to Phase**
4. Ahora puede visualizar la nueva banda de fase
 - Las franjas tienen mucho menos ruido
 - La relación de aspecto ha cambiado así que los píxeles son casi cuadrados



Preparación de Datos Interferométricos

Creando un Subconjunto

1. Para analizar un derrumbe en particular, puede crear un subconjunto alrededor del área de interés. Esto le ahorrará tiempo de desenrollamiento y después en el procesamiento.
2. Haga clic en **Raster > Subset > Geo Coordinates** > ingrese "North: 35.89, South: 35.82, West: -121.46, East: -121.39"



Procesamiento Interferométrico

Desenrollamiento de la Fase: El plugin SNAPHU para SNAP

- Instrucciones de instalación y uso:
 - Este plugin ahora está disponible bajo plugins para SNAP. El plugin SNAPHU Unwrapping puede ser instalado desde **Tools > Plugins > Available Plugins**.
- Elija el plugin, haga clic en “**Install**” y siga el proceso de instalación. Reinicie SNAP cuando termine la instalación de SNAPHU Unwrapping.
- Una vez que se instale el plugin, estará disponible bajo **Radar > Interferometric > Unwrapping > Snaphu-unwrapping***
 - * Cuando utilice la herramienta de desenrollamiento SNAPHU Unwrapping por primera vez, recibirá una notificación de que es necesario configurar una ruta operativa para el plugin
 - Haga clic en OK y proceda con la descarga e instalación del paquete
 - Después de estos pasos, el plugin estará listo para ser usado. En Linux, después de la instalación del plugin, asegúrese de agregar el permiso de ejecución en snaphu script bajo \$HOME/.snap/auxdata/snaphu-v1.4.2_linux/bin antes de empezar a utilizar el plugin.

Procesamiento Interferométrico

Desenrollamiento de la Fase

- Antes de desenrollar un producto, hay que exportarlo utilizando Snaphu Export
 - **Radar > Interferometric > Unwrapping > Snaphu Export**
- Cuando termine la exportación, se puede ejecutar el desenrollamiento de Snaphu Unwrapping
 - **Radar > Interferometric > Unwrapping > Snaphu-unwrapping**

Procesamiento Interferométrico

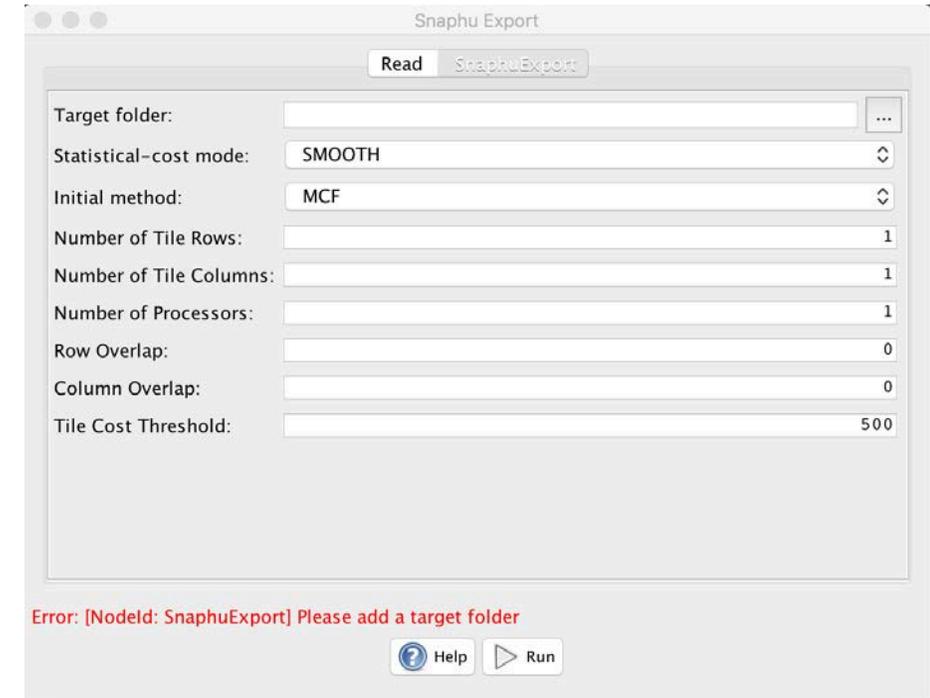
Desenrollamiento de la Fase

- En la primera pestaña, seleccione el producto previamente exportado con Snaphu Export (ej. Phase.hdr)
- En la pestaña de parámetros, seleccione la carpeta para la salida
 - Para poder abrir el producto desenrollado, es obligatorio seleccionar como carpeta para la salida la misma carpeta donde se encuentran los archivos que exportó (ej. phase.img, snaphu.conf etc.)
 - También puede fijarse bajo “**Display execution output**” para poder visualizar el historial y el proceso de desenrollamiento.
- Ahora haga clic en “Run”
- Después de que se desenrolle la fase, la puede importar a SNAP para ser analizada utilizando **Radar > Interferometric > Unwrapping > SNAPHU Import** (para utilizar el producto desenrollado en SNAPHU Import, asegúrese de haberlo guardado antes)

Procesamiento Interferométrico

Desenrollamiento de la Fase

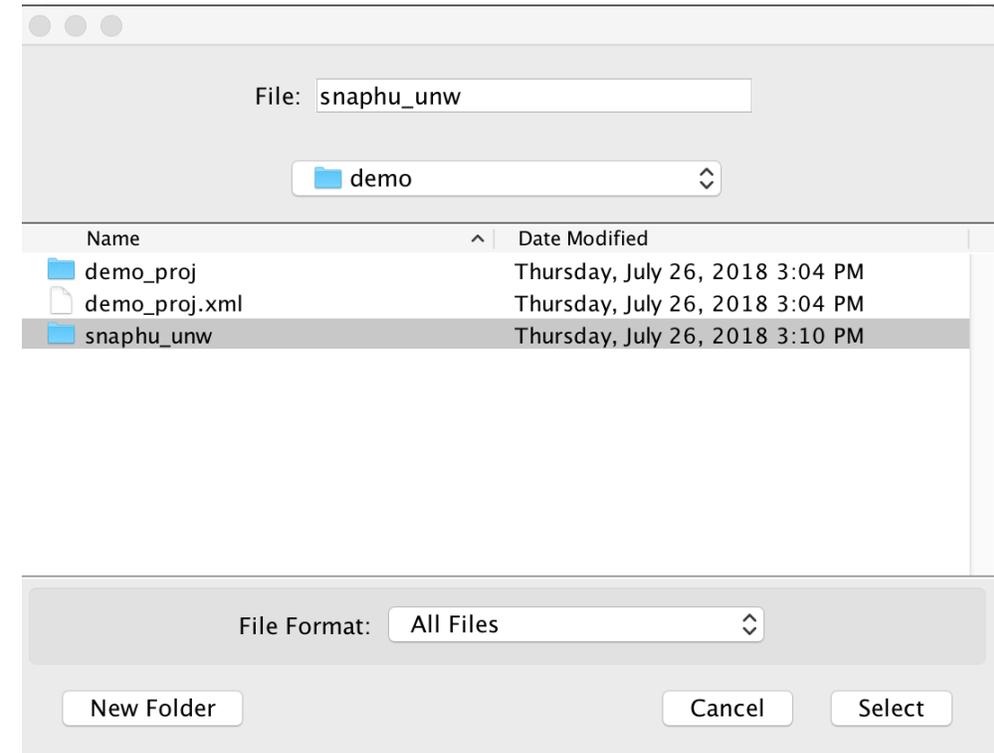
- SNAP 6.0 no incluye desenrollamiento de la fase. Tiene una forma de exportar interferogramas para desenrollar con el programa tercerizado Snaphu (Statistical-cost, Network-flow Algorithm for Phase Unwrapping) de Chen y Zebker.
1. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar > Interferometric > Unwrapping > Snaphu Export**.
 2. En la pestaña **Read**, seleccione el producto "ML" creado por el paso del multilooking
 3. En la pestaña **Snaphu Export**, cambie el modo Statistical-cost a "SMOOTH"
 4. También cambie el número de filas y columnas de tejas y el número de procesadores a "1" porque no necesitamos tejas múltiples después del multilooking y la creación de subconjuntos.



Procesamiento Interferométrico

Desenvolvimiento de Fase

5. En la pestaña **Snaphu Export**, también debe especificar una carpeta de destino para sus archivos exportados. Yo puse los archivos de Snaphu en una carpeta separada (la que aquí llamé "snaphu_unw"), así que debe crear una carpeta por medio del diálogo de selección o en otra ventanilla.
6. La ventanilla de diálogo de **Snaphu Export** que aparece no funciona del todo bien con SNAP 7.0 en MacOS. Una solución:
 - Navegue a la carpeta que incluye la carpeta "snaphu_unw"
 - El botón "select" no funcionará para seleccionar la carpeta "snaphu_unw"
 - Escriba "snaphu_unw" en la casilla **File:** en la parte superior y después haga clic en Select



Procesamiento Interferométrico

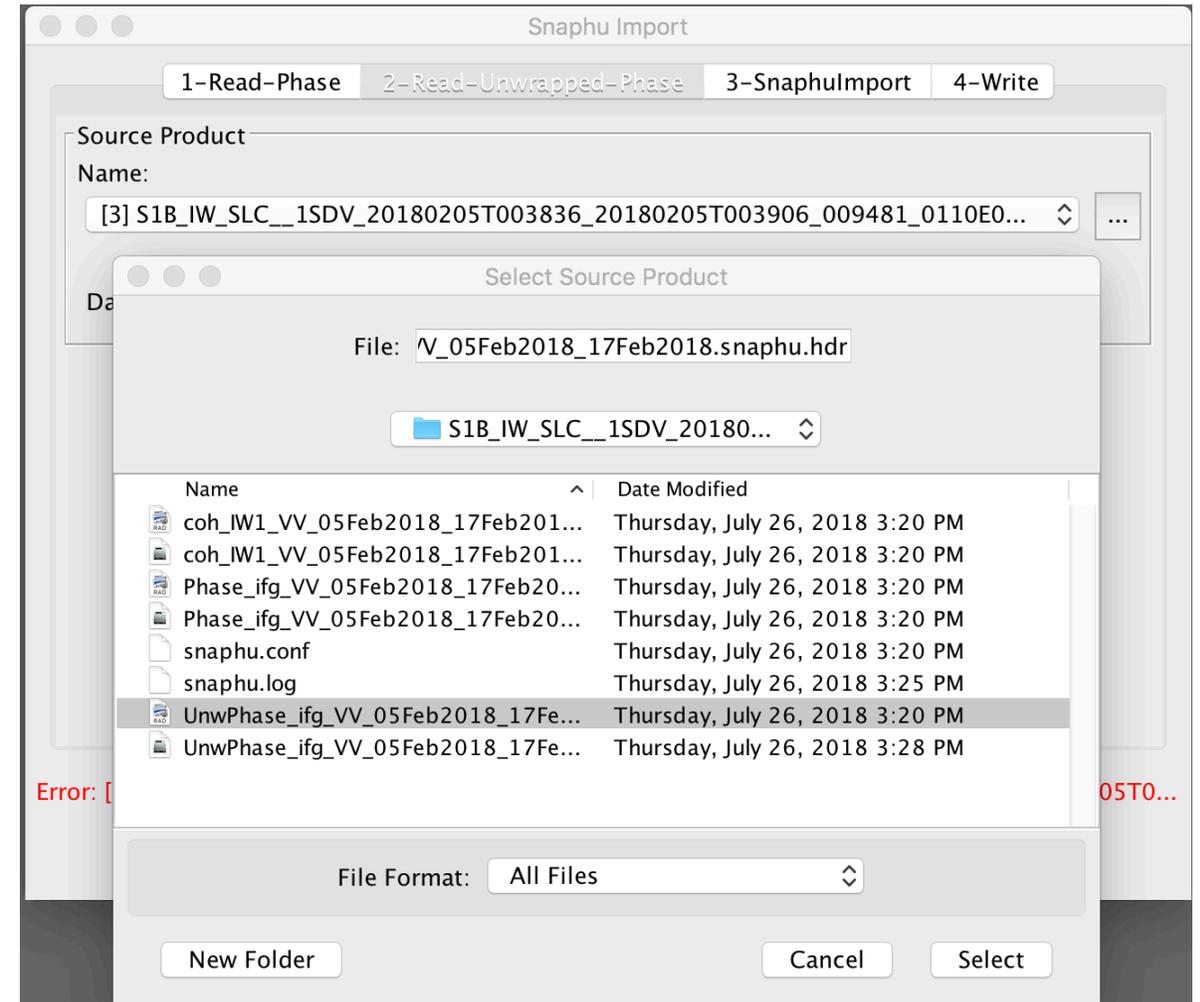
Desenrollamiento de la Fase

7. Ahora puede hacer clic en el botón **Run** y SNAP exportará la fase y coherencia del interferograma con un archivo "snaphu.conf"
8. Ahora importamos la fase desenrollada. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Unwrapping** y después **Snaphu Import**.
9. La pestaña **Read-Phase** debería estar configurada para el producto que usted exportó.

Procesamiento Interferométrico

Desenrollamiento de la Fase

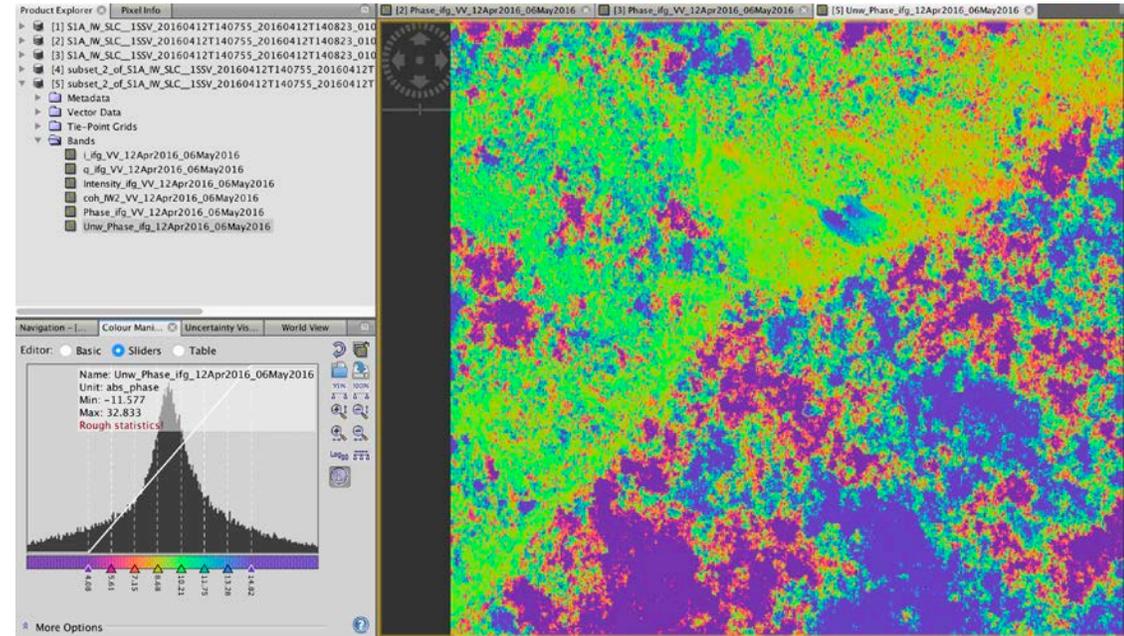
10. En la pestaña **Read-Unwrapped-Phase**, seleccione el producto desenrollado:
 - Navegue a la carpeta a la que exportó para Snaphu
 - Seleccione el archivo
"UnwPhase_ifg* .snaphu.hdr"
11. Vaya a la pestaña **Write** y revise el nombre de salida del producto (yo le agrego "_unw" al nombre del producto enrollado para obtener un nuevo producto)



Procesamiento Interferométrico

Desenrollamiento de la Fase

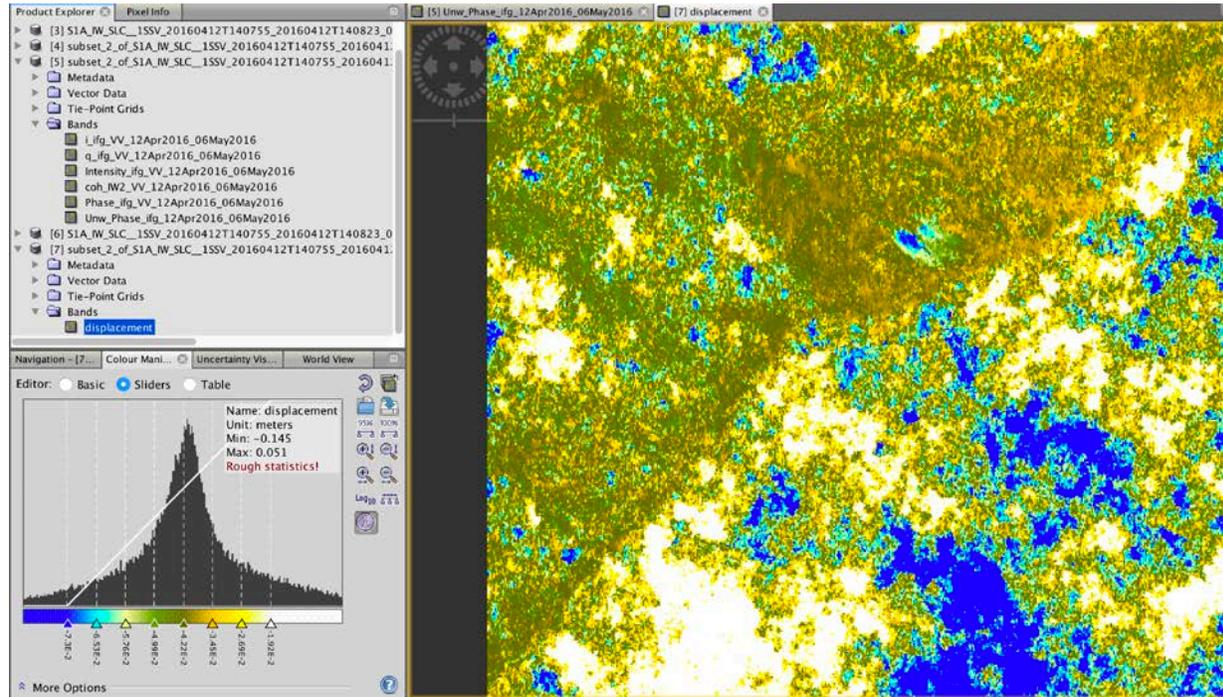
12. Finalmente podemos visualizar la fase desenrollada
13. Seleccione la banda Unw_Phase_ifg
14. Vaya a la pestaña Colour Manipulation y seleccione "95%" para estirar la escala cromática y luego ajuste los deslizadores para mostrar mejor el derrumbe
 - La fase desenrollada sigue en radianes
 - La fase es la imagen de referencia menos la imagen corregistrada. Si la imagen de referencia es anterior a esta, la fase negativa significa que el suelo se mueve hacia el satélite (cambio de rango negativo)



Procesamiento Interferométrico

Conversión de Fase a Desplazamiento

1. Podemos convertir la fase desenrollada en desplazamientos. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Products** y después **Phase to Displacement**.
 - La pestaña **I/O Parameters** debe contener el producto desenrollado que importó.
 - por defecto, se le agrega “_dsp” al nombre del producto nuevo

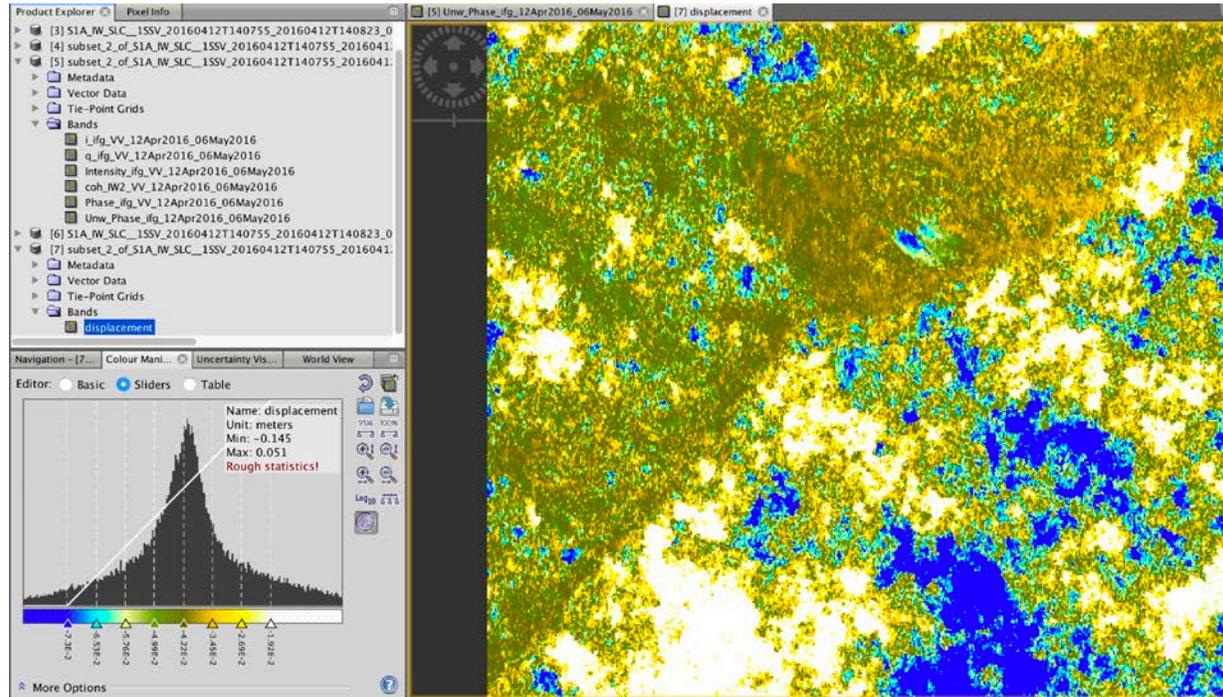


Procesamiento Interferométrico

Conversión de Fase a Desplazamiento

2. Ahora podemos visualizar la banda **displacement** resultante. Nuevamente, es mejor estirar los colores.

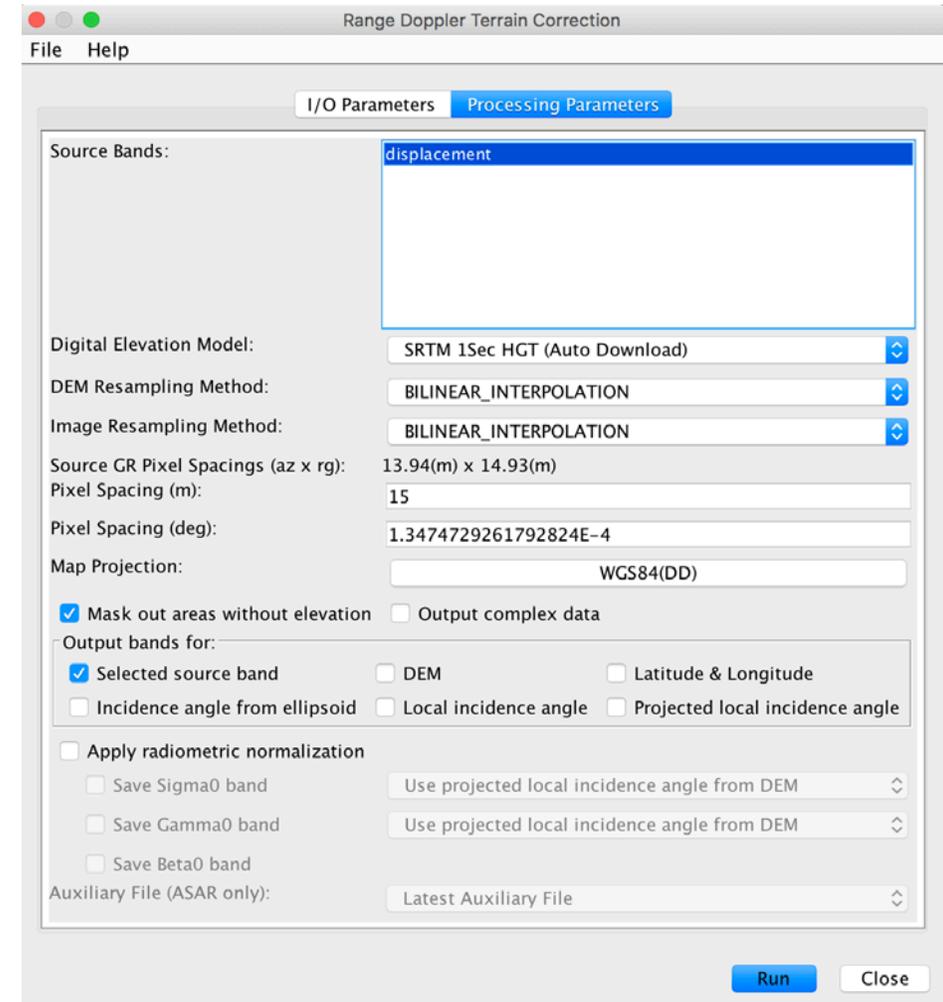
- El desplazamiento está en metros.
- El signo cambió así que el desplazamiento positivo es hacia el satélite (arriba o hacia el Este en este recorrido)



Procesamiento Interferométrico

Resultados de Geocodificación—Corrección por Terreno

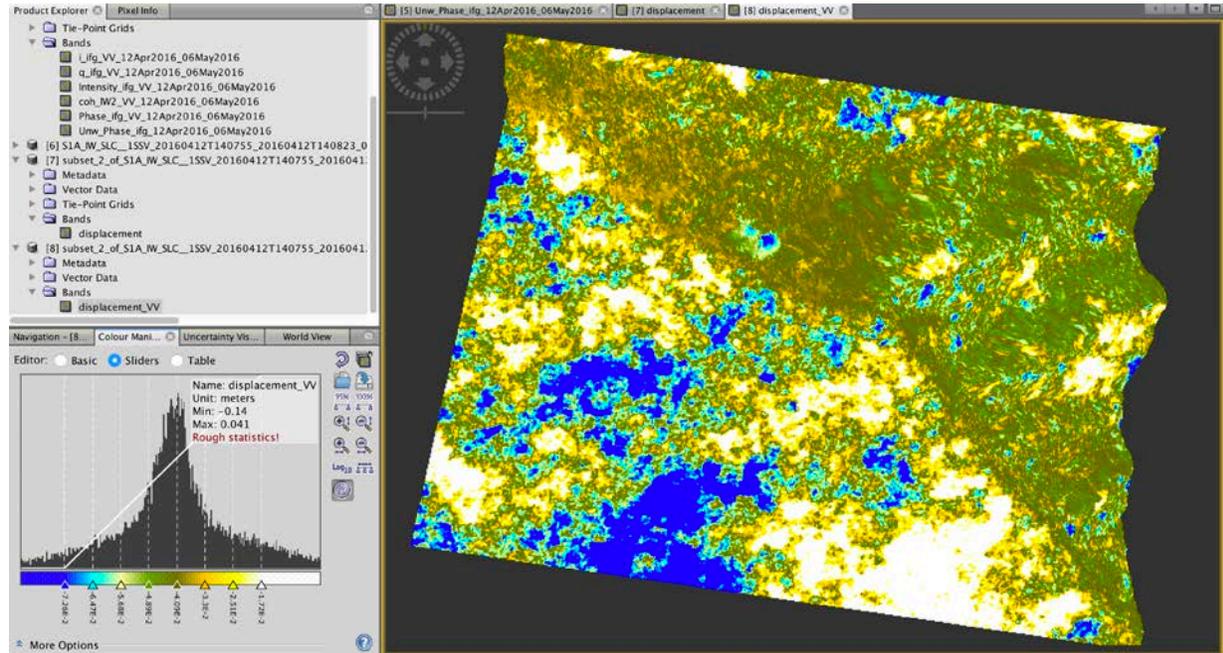
1. SNAP hace la geocodificación con topografía por medio de “Terrain Correction”. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Geometric**, luego **Terrain Correction**, y luego **Range-Doppler Terrain Correction**.
 - La pestaña **I/O Parameters** debe contener el producto de desplazamiento que importó (o algún otro de los productos ML).
 - por defecto se le agrega “_TC” al nombre del archivo de salida
 - Bajo la pestaña **Processing Parameters**, seleccione **Source Bands** y cualesquiera **Output Bands** adicionales. También puede elegir el DEM (**SRTM 1Sec HGT** es en realidad 1 arcosegundo o 30 m), espaciado de salida (**15 m**) y proyección cartográfica.

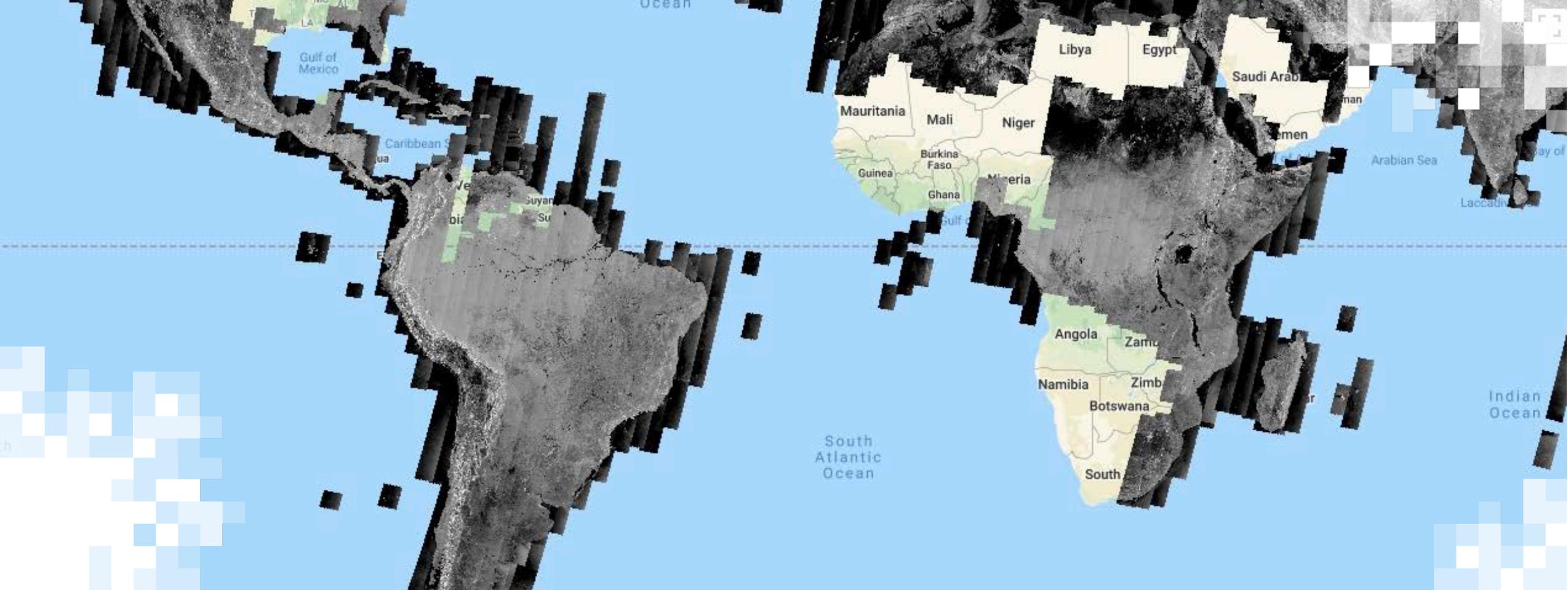


Procesamiento Interferométrico

Resultados de Geocodificación—Corrección por Terreno

1. Ahora podemos visualizar la banda **displacement_vv** del resultado geocodificado. Nuevamente, es mejor estirar los colores.
 - Los desplazamientos están en metros con valores positivos significando hacia el satélite en la dirección de la línea de observación (arriba o hacia el este).
 - El producto ahora está espaciado de manera uniforme en latitud y longitud de aproximadamente 15 metros (1.35×10^{-4} grados).





Análisis de InSAR para Derrumbes