

Image Credit: NASA/JPL



SAR Interferométrico para el Estudio de Terremotos

Eric Jameson Fielding, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology

16 de agosto del 2018

Objetivos de Aprendizaje

Al final de esta presentación, Usted podrá:

- Entender la física básica del SAR interferométrico
- Describir lo que la fase interferométrica de SAR nos dice sobre la superficie terrestre
- Describir el pre-procesamiento de datos necesarios
- Entender el contenido informático de las imágenes de SAR interferométrico

Prerrequisitos

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

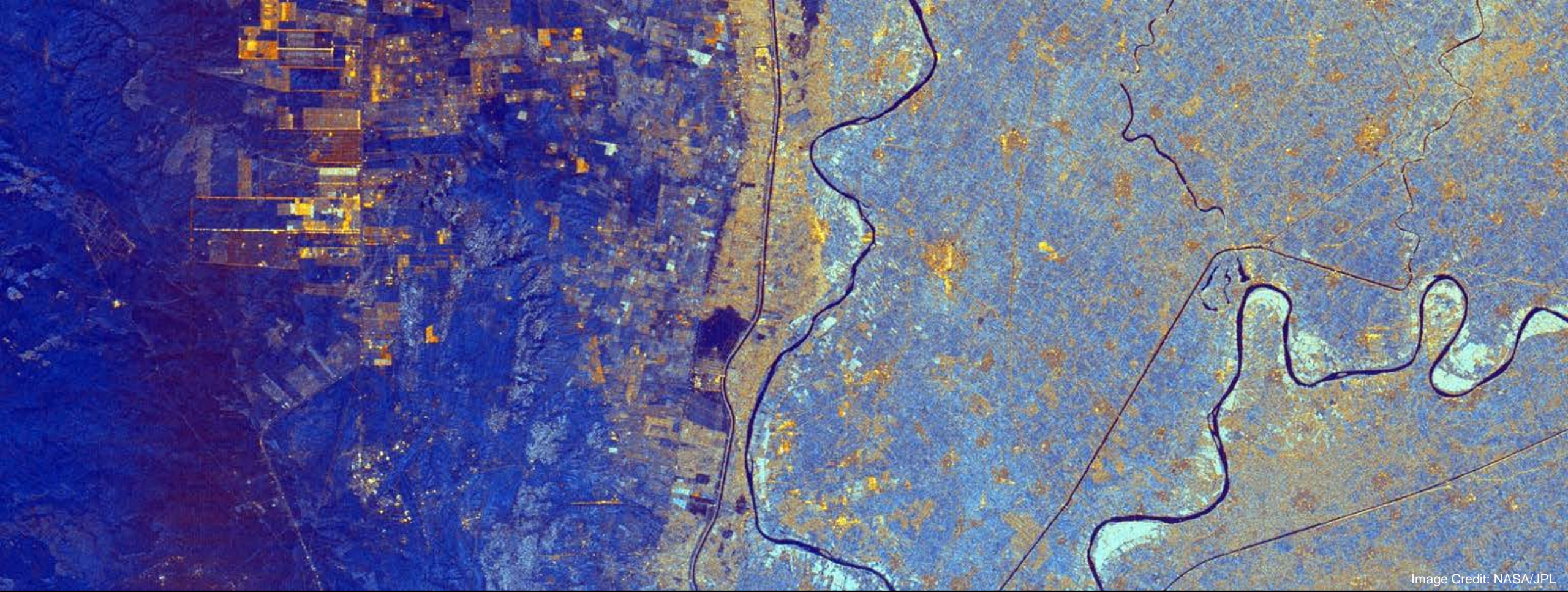


Image Credit: NASA/JPL

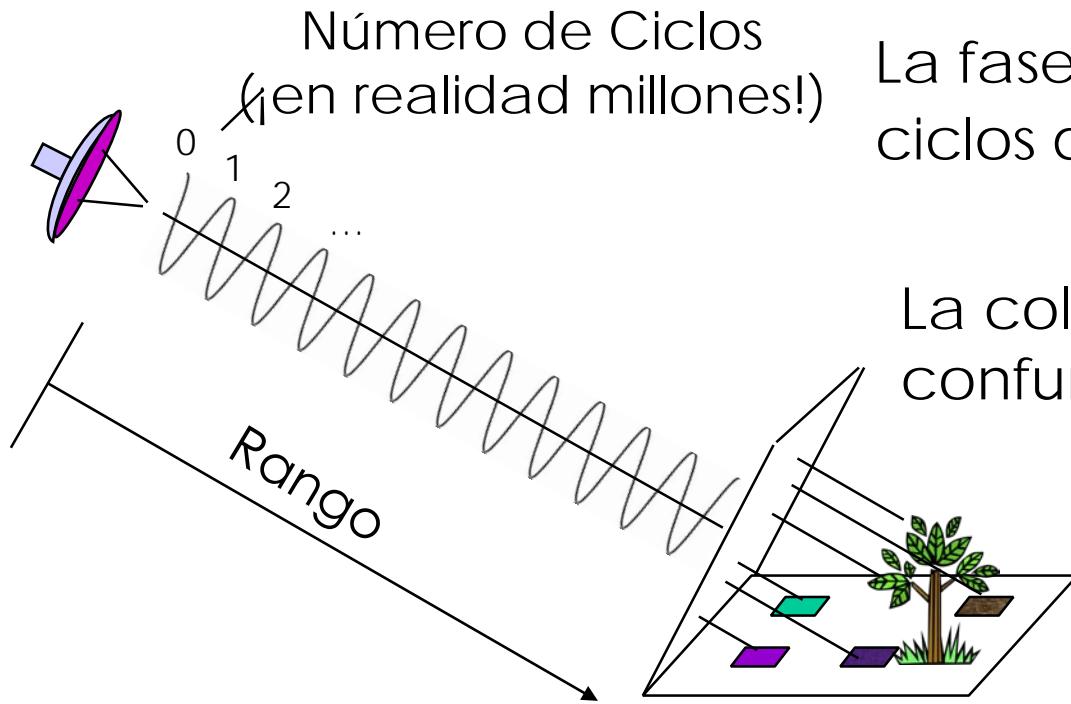
Teoría Interferométrica de SAR (Repaso)

Teoría Interferométrica de SAR

- Breve repaso de la teoría interferométrica del radar de apertura sintética
- Vea la capacitación ARSET del 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- Una 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!

Slide Courtesy of Paul Rosen (JPL)

Una Visión Simplista de las Fases de SAR

Fase de la 1^{ra} Imagen $\phi_1 = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \rho_1 + \text{otras constantes} + n_1$

Fase de la 2^{da} Imagen $\phi_2 = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \rho_2 + \text{otras constantes} + n_2$

1. Las "otras constantes" no se pueden determinar directamente
2. Las "otras constantes" dependen de la distribución de los dispersores 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")

Slide modified from Paul Rosen (JPL)



Aplicaciones de la Interferometría SAR

- Mapeo/Cartografía
 - Se utilizó la interferometría SAR para la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) en el año 2000, la cual se lanzó nuevamente en 2018 como NASADEM
 - La interferometría de radar de plataformas aéreas se utiliza comúnmente para producir mapas topográficos conocidos como modelos de elevación digitales (digital elevation models o DEMs)
 - Exactitud de posición circular de 2 a 5 metros
 - Paso de muestreo y resolución de 5 a 10 m
 - Se producen DEMs de 10 km por 80 km en una hora en una mini-supercomputadora
 - La topografía por SAR de la NASA está siendo adquirida por 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 cobertura, evaluación de riesgos, inteligencia, planificación urbana, geología a corta y larga escala temporal, hidrología

Diapositiva Modificada de Paul Rosen (JPL)



Aplicaciones de la Interferometría SAR

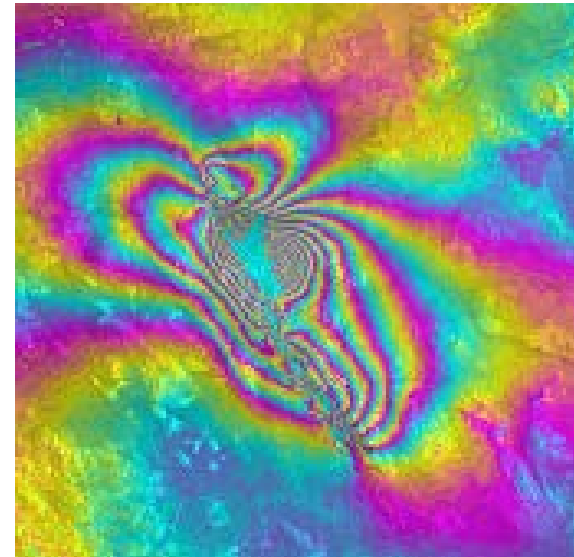
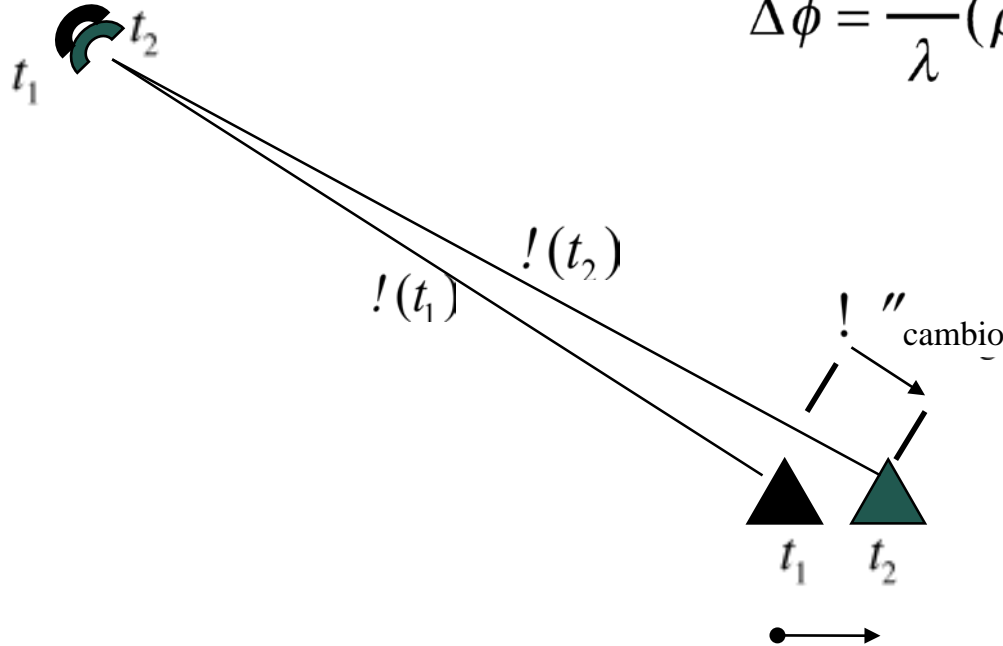
- Mapeo de Deformaciones y Detección de Cambios
 - La interferometría de radares de paso repetido de plataformas espaciales se utiliza comúnmente para producir mapas de cambios topográficos conocidos como modelos de desplazamiento digitales (digital displacement models o DDMs).
 - Tienen una exactitud 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 hacen dos observaciones desde el mismo lugar en el espacio pero en momentos diferentes, la fase interferométrica es directamente proporcional a cualquier cambio en el rango de alguna de las características de la superficie.

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}(\rho(t_1) - \rho(t_2)) = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta\rho_{\text{cambio}}$$



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

$(\phi \Leftrightarrow \Delta\phi)$

	$\frac{\partial \phi}{\partial \Delta \rho} = \frac{4\pi}{\lambda}$	Sensibilidad Topográfica
		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
Ya que	$\frac{b}{\rho} \ll 1 \implies$	$\frac{\sigma_{\phi_{desp}}}{\sigma_{\Delta \rho}} \gg \frac{\sigma_{\phi_{topo}}}{\sigma_h}$

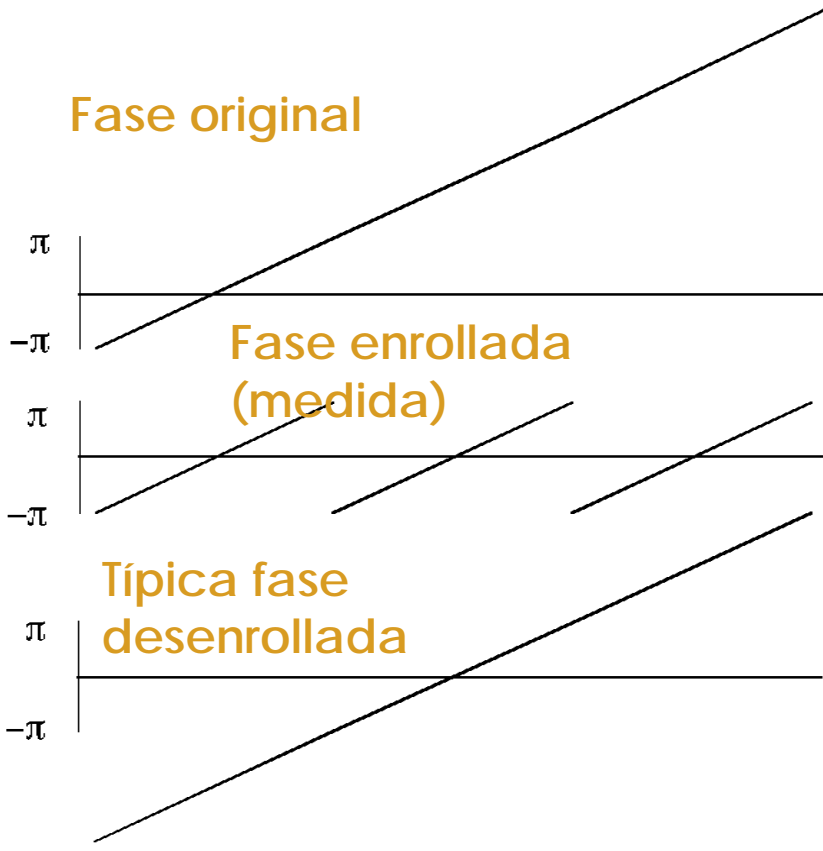
Mediciones Topográficas a Escala Métrica – Cambios Topográficos a Escala Milimétrica



Desenvolvimiento de Fase

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

Fase original



Fase enrollada (medida)

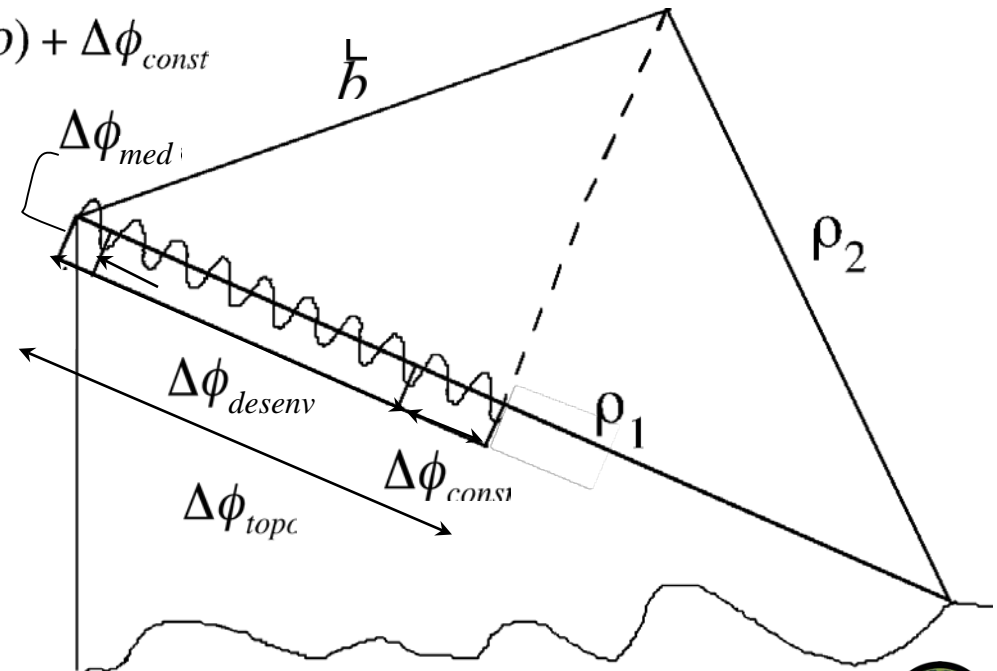
Típica fase desenrollada

Diapositiva modificada de Paul Rosen (JPL)

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

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

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



Teoría de Correlación*

- Las señales InSAR se decorrelacionan (se vuelven incoherentes) debido a
 - Ruidos térmicos y de procesadores
 - 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 desarrollar la fase

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



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: Una Medida de Escala Superficial

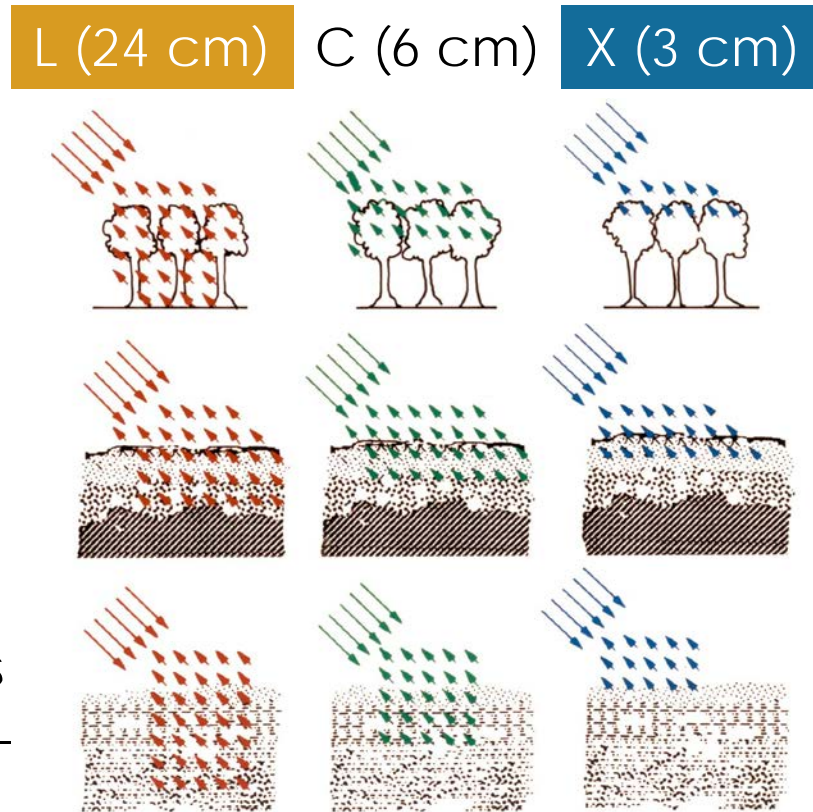
La señal interactúa más con los objetos de un tamaño similar a la longitud de onda

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

Suelos Secos: La superficie se ve áspera para la banda-X pero no para la banda-L

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

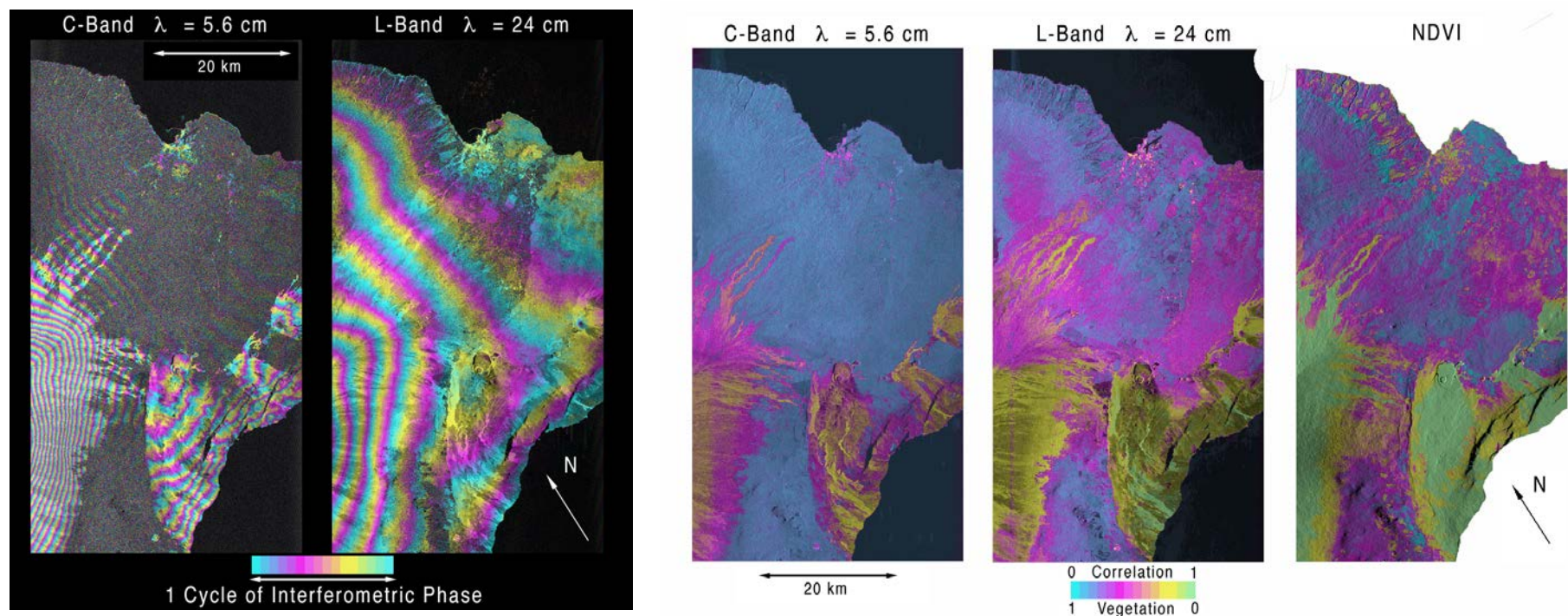
Diapositiva Modificada de Paul Rosen (JPL)



Detección de Cambios Coherentes

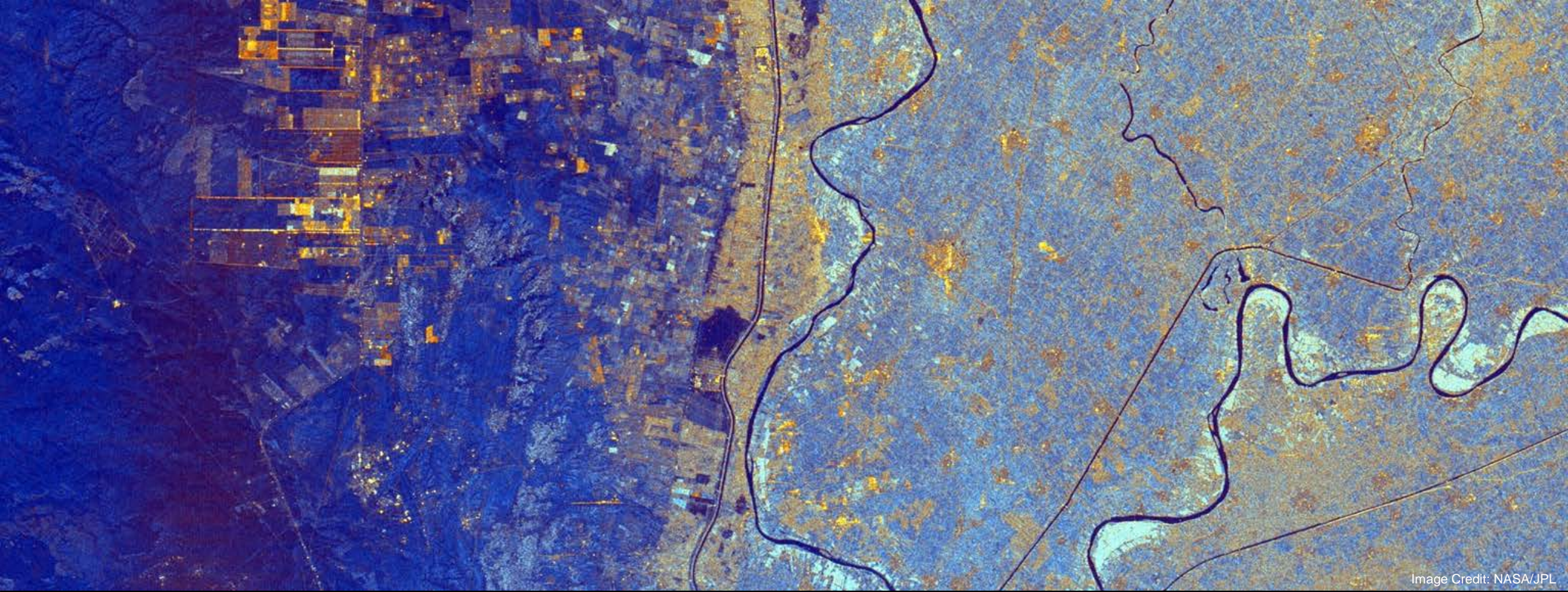
Interferometría de SIR-C banda-L y banda-C

- Forma interferogramas con imágenes separadas temporalmente por 6 meses
- Bandas C y L simultáneas



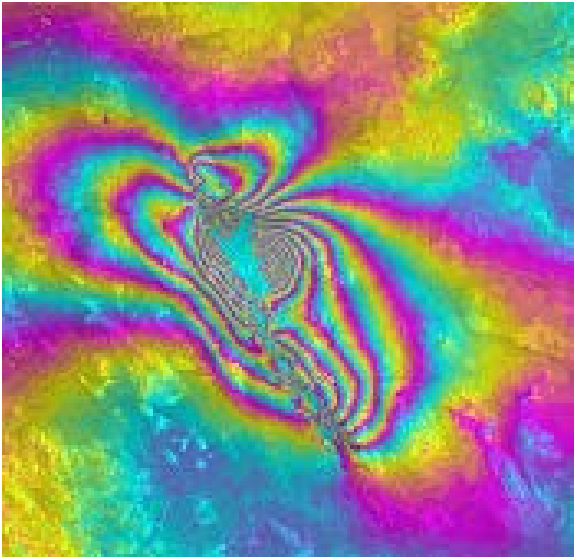
Los experimentos de InSAR han mostrado una buena correlación en la banda-L



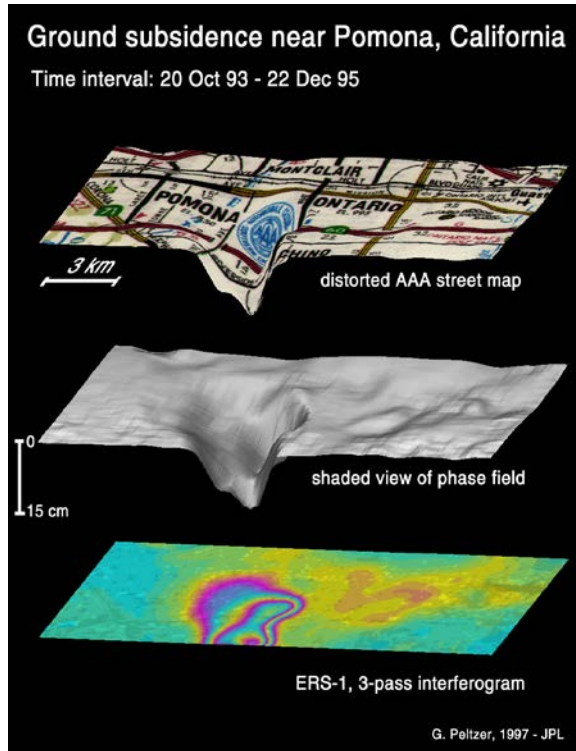


Aplicaciones de InSAR—Terremotos, etc.

Algunos Ejemplos de Deformación

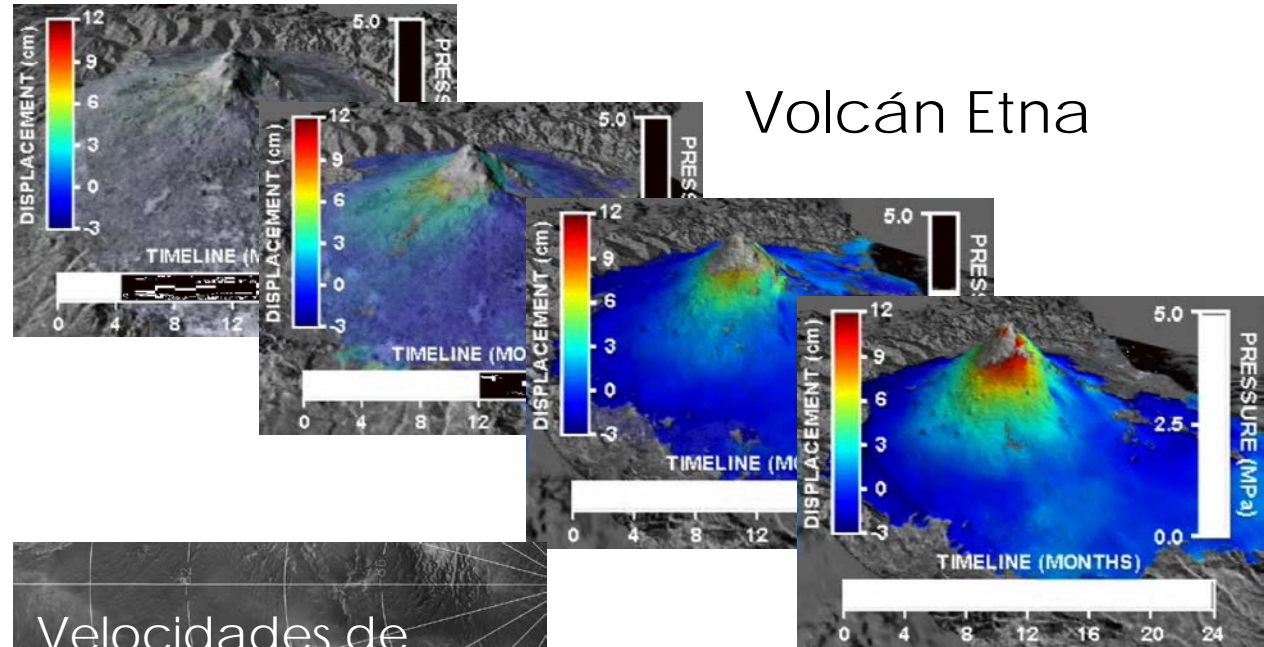


Terremoto en la mina Héctor

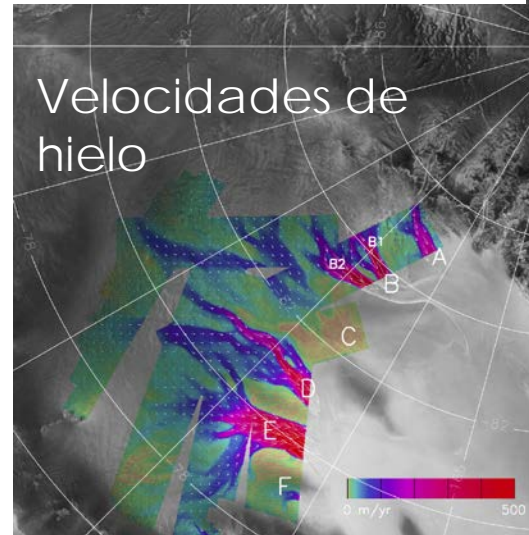


Diapositiva modificada de Paul Rosen (JPL)

G. Peltzer, 1997 - JPL



Volcán Etna

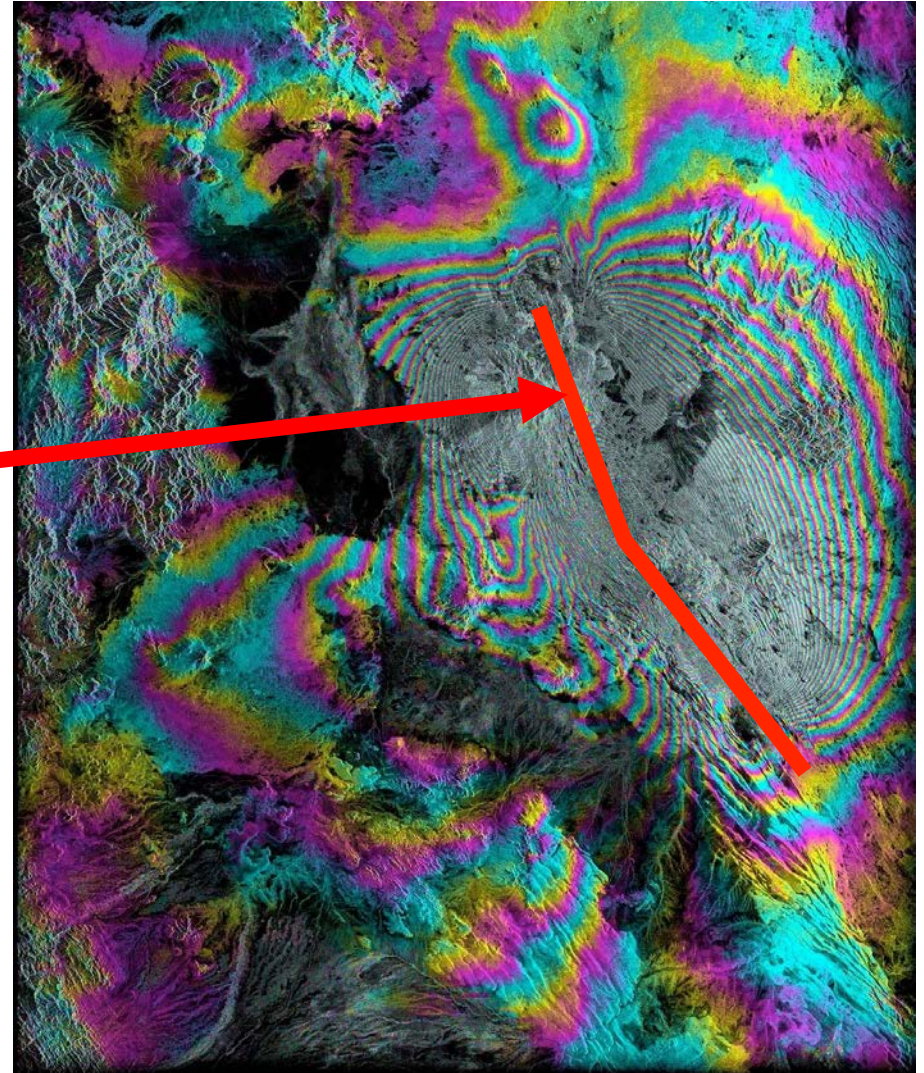


Velocidades de hielo

Joughin et al , 1999



Inyección de Fluidos en el Rift Asal

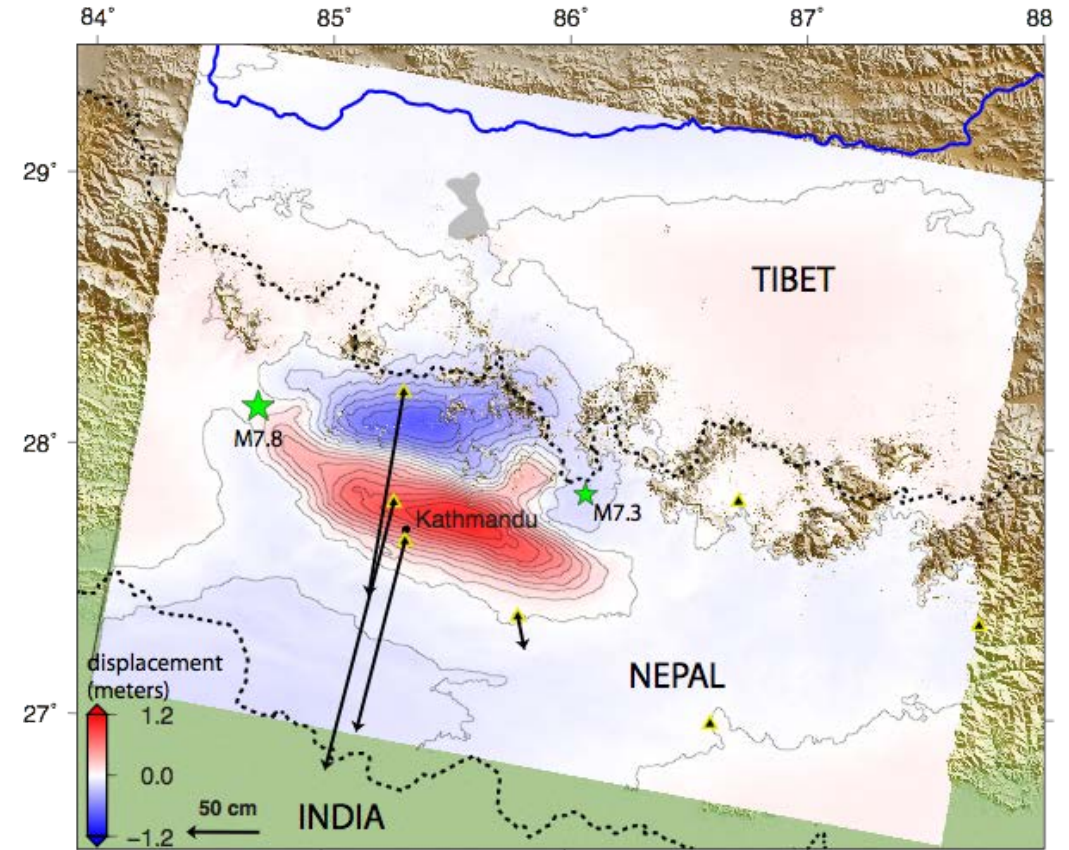


Interferograma de Envisat: 6 de mayo- 28 de octubre de 2005; de Tim Wright, U. de Leeds



Terremoto M7.8 en Gorka, Nepal en 2015

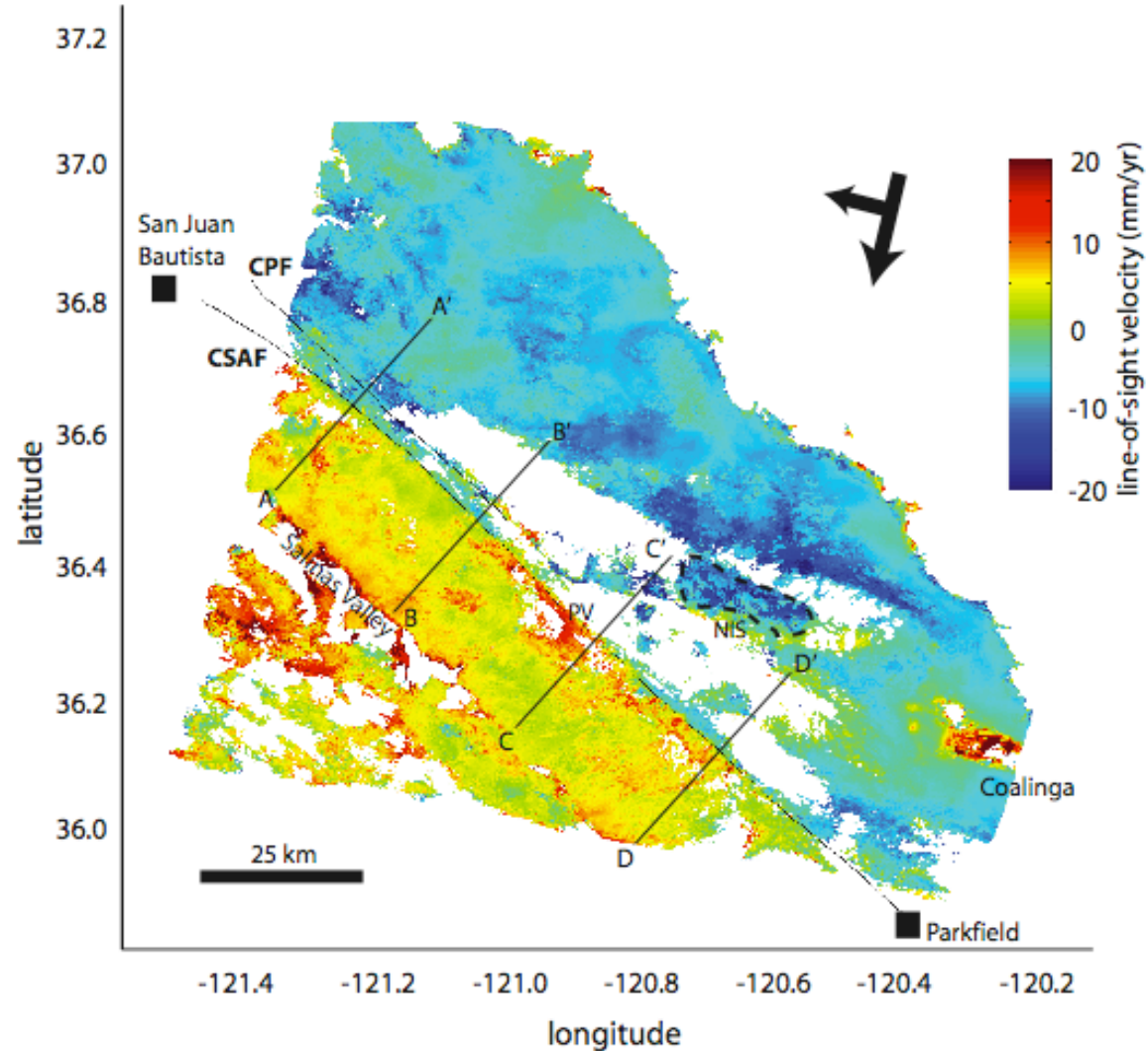
- Interferograma ALOS-2 ScanSAR
- Línea visual (line-of-sight o LOS) descendente perpendicular al plano horizontal
- La fase InSAR sólo ve el componente vertical
- El Alto Himalaya bajó hasta 1,2 m
- Yue, H., et al. (2017), Depth varying rupture properties during the 2015 Mw 7.8 Gorkha (Nepal) earthquake, *Tectonophysics*, v. 714-715, p. 44-54, doi:10.1016/j.tecto.2016.07.005.



Pulso y resonancia del deslizamiento en la cuenca de Katmandú durante el terremoto de Gorka de 2015, Nepal



Arrastre en la Falla de San Andrés

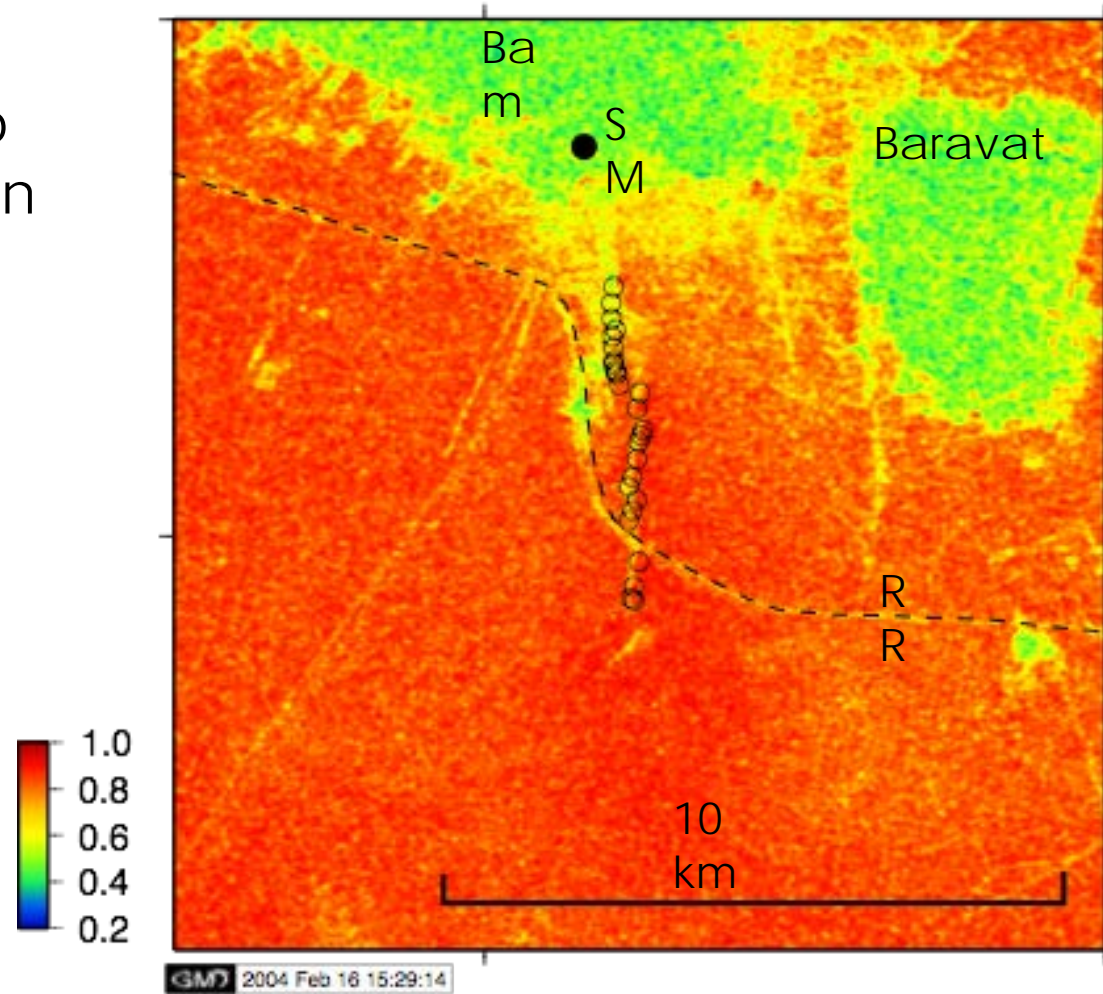


Superposición de 12 interferogramas ERS cubriendo desde mayo de 1992 hasta enero de 2001



La Decorrelación Muestra Rupturas Superficiales

2003- Terremoto
M6.5 en Bam, Irán



Envisat: 35 días
2003/12/3 –
2004/1/7

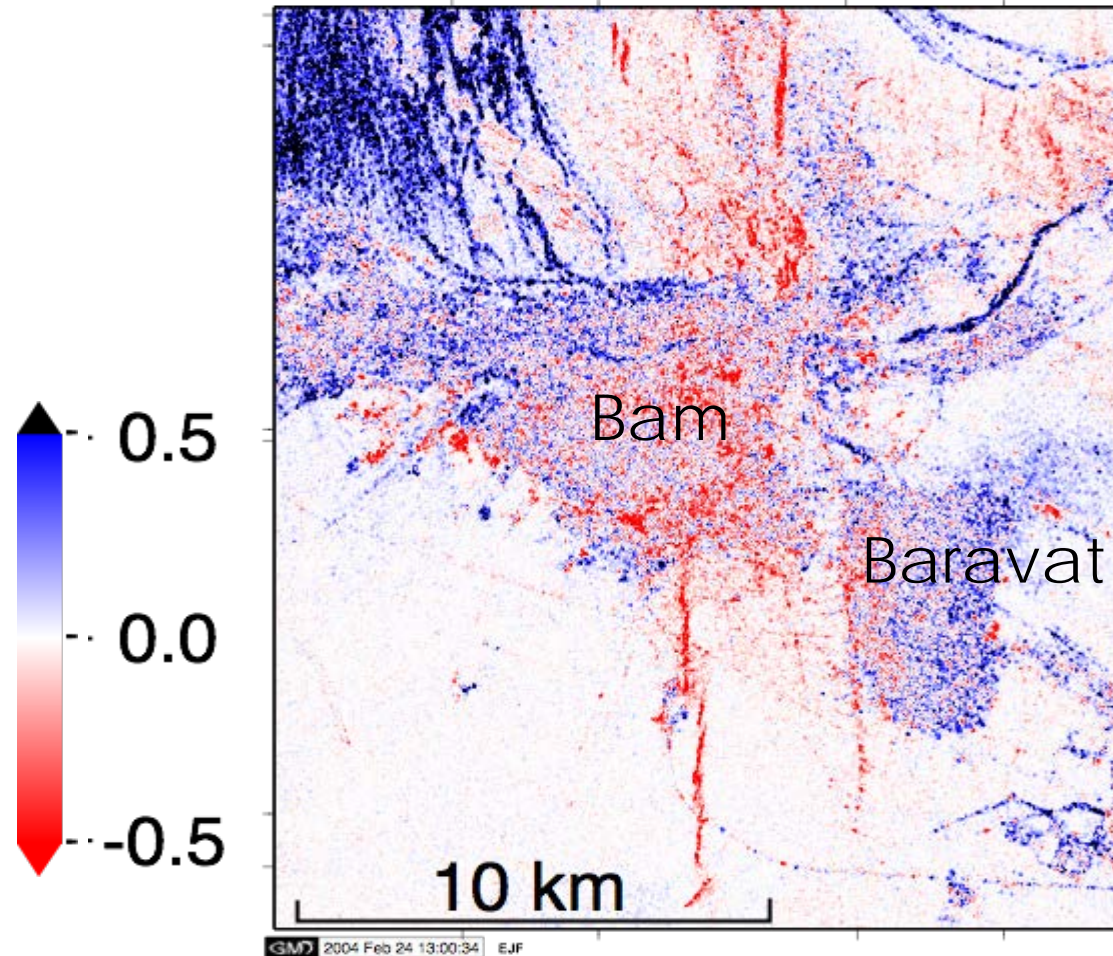
Trayectoria
descendente

Bperp 580 m

Fielding, E. J., M. Talebian, P. A. Rosen, H. Nazari, J. A. Jackson, M. Ghorashi, and R. Walker (2005), Surface ruptures and building damage of the 2003 Bam, Iran, earthquake mapped by satellite synthetic aperture radar interferometric correlation, *J. Geophys. Res.*, 110(B3), B03302, doi:10.1029/2004JB003299.



Cambio de Correlación



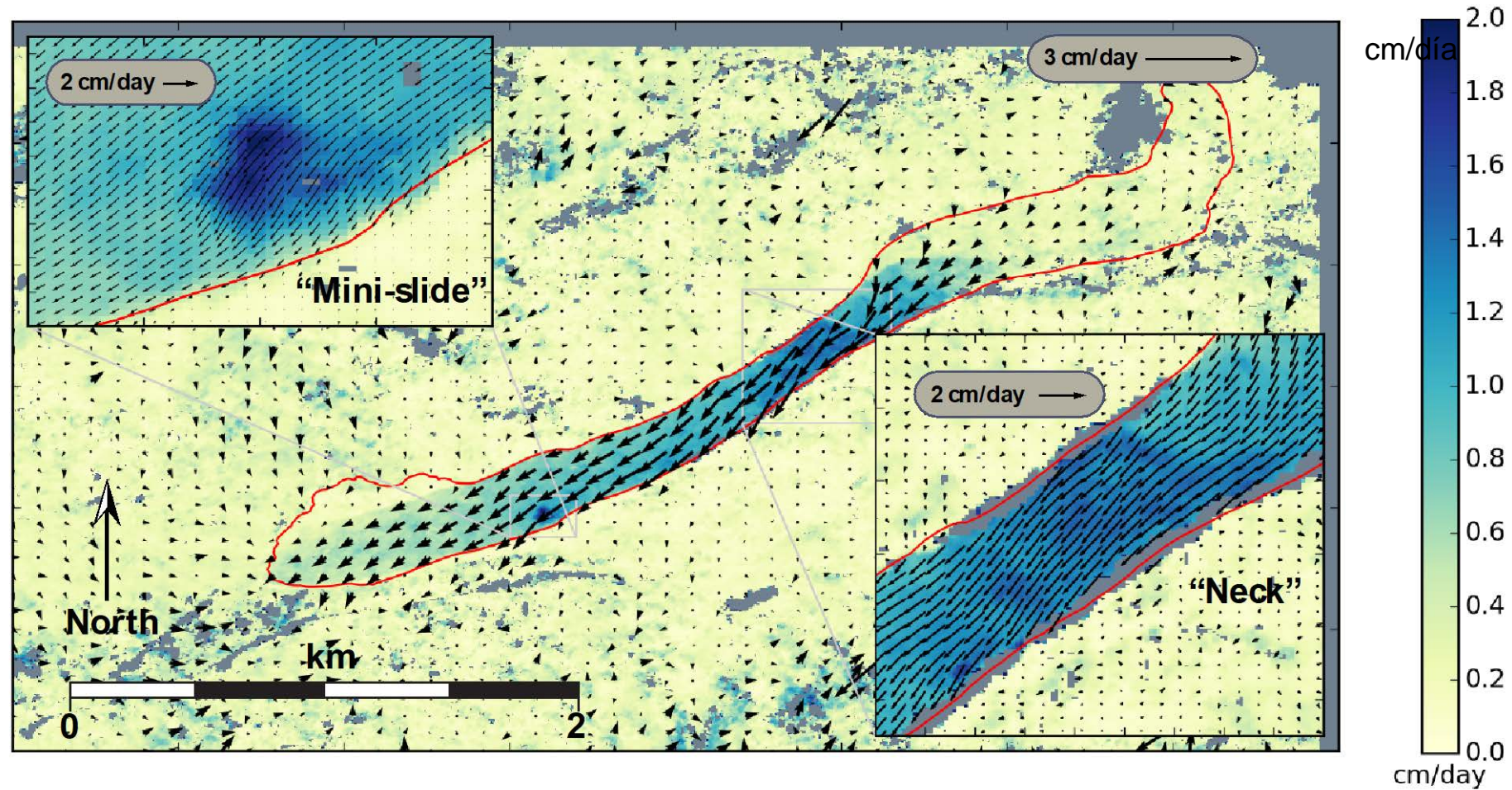
Correlación co-sísmica
menos correlación pre-
sísmica de Envisat

lo rojo es
decorrelación
co-sísmica



Movimiento de Deslizamientos de Tierras

Combinación de cuatro líneas de vuelo de NASA UAVSAR InSAR



Delbridge, B. G., R. Bürgmann, E. Fielding, S. Hensley, and W. H. Schulz (2016), Three-dimensional surface deformation derived from airborne interferometric UAVSAR: Application to the Slumgullion Landslide, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121(5), 3951--3977, doi:10.1002/2015JB012559.

Satélites SAR

	ciclo de repetición (días)	long. de onda (cm)
ERS-1/ERS-2 '92-'01(-2011)- Europa	35 (1,3,183)	6
Radarsat-1 1995-2013- Canadá	24	6
Envisat '03-sep.'10('10-abr.'12)- Europa	35 (30)	6
ALOS ene. 2006–abr. 2011- Japón	46	24
TerraSAR-X '07, TanDEM-X '10- Alemania	11	3
COSMO-SkyMed 4x lanzado '07-'10- Italia	16 (1,4,7,8)	3
Radarsat-2 lanzado dic. 2007- Canadá	24	6

nuevas aeronaves SAR

satélite (fecha de lanzamiento real o anticipada)	ciclo de repetición (días)	long. de onda (cm)
Sentinel-1 (A: abr. 2014, B: may. 2015)- Europa	12(6)	6
ALOS-2 (may. 2014)- Japón	14	24
RISAT-1 (abr. 2012)- India	25	6
Misión NASA-ISRO SAR (NISAR) (2021)	12	12,24

Misión NASA-ISRO SAR (NISAR)

- Resolución espacial alta con tiempo de revisita frecuente
- Lanzamiento anticipado más pronto: 2021
- SAR de doble frecuencia– SAR de Banda L y Banda S
- SAR banda-L de la NASA y SAR banda-S de ISRO
- 3 años de operaciones científicas (+ de 5 años de productos)
- Todos los datos científicos se harán gratis y libremente disponibles
- <https://nisar.jpl.nasa.gov>

Slide Courtesy of 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 ≤ -23 db	Surface characterization of smooth surfaces



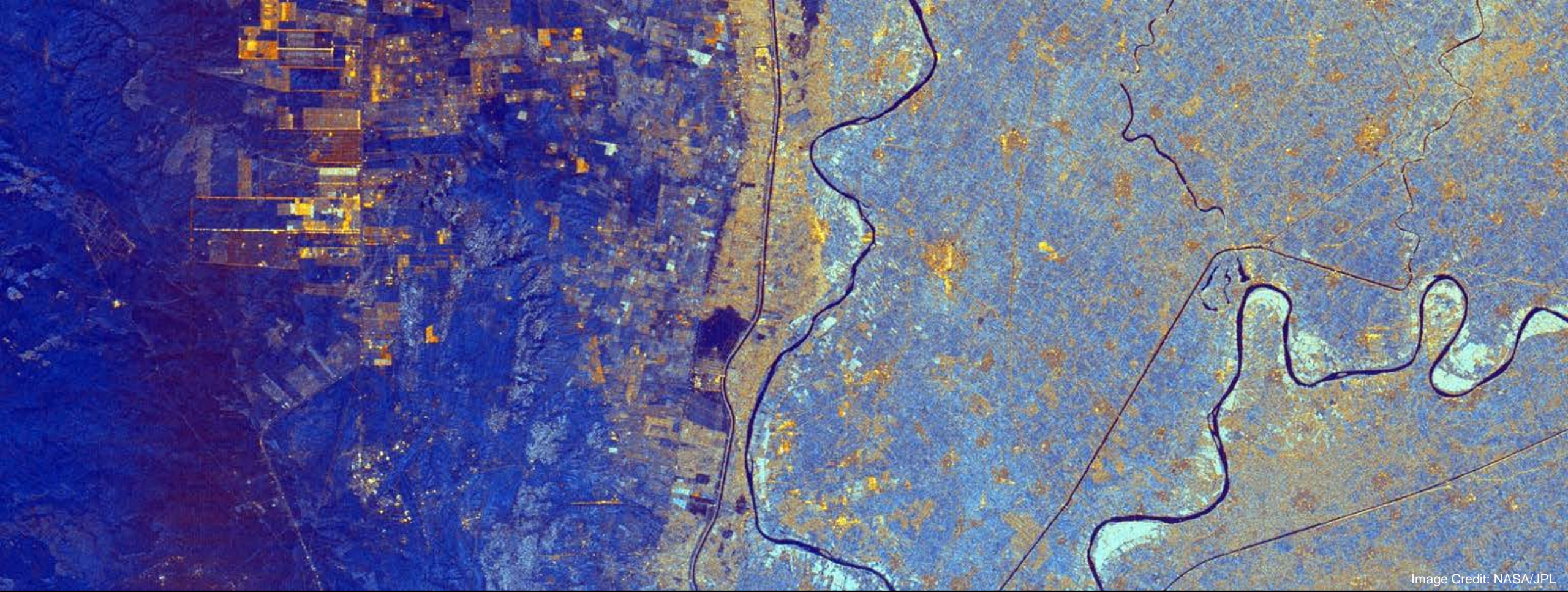
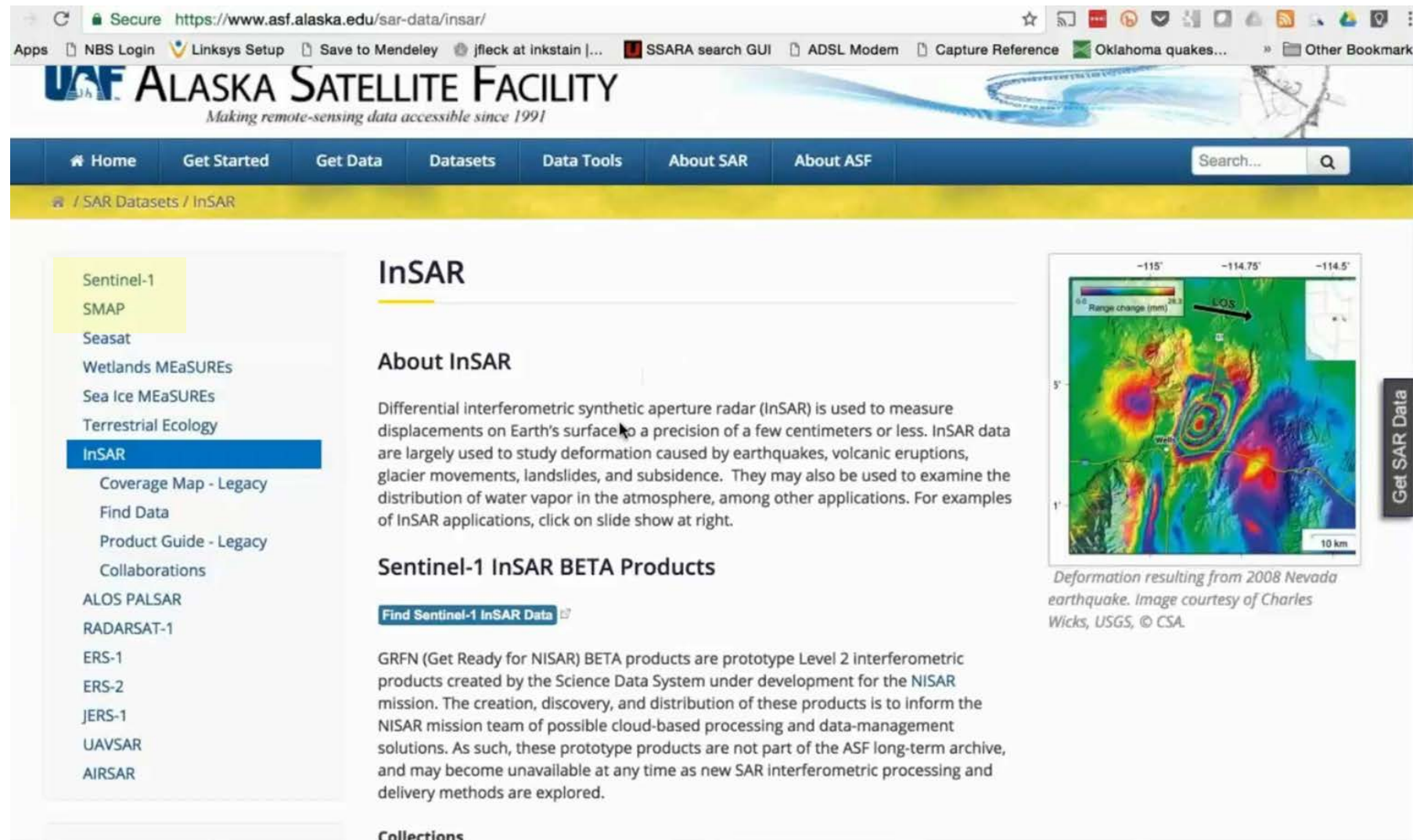


Image Credit: NASA/JPL

Cómo Acceder, Abrir y Visualizar Imágenes Interferométricas SAR

Cómo Conseguir Datos para InSAR



The screenshot shows the Alaska Satellite Facility (ASF) website. The browser address bar displays the URL <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/insar/>. The website header includes the ASF logo and the tagline "Making remote-sensing data accessible since 1991". A navigation menu contains links for Home, Get Started, Get Data, Datasets, Data Tools, About SAR, and About ASF. A search bar is located on the right side of the menu.

The main content area is titled "InSAR" and includes a sidebar on the left with a list of data categories. The "InSAR" category is highlighted in blue. Below the sidebar, the "About InSAR" section provides a detailed description of the technology and its applications. The "Sentinel-1 InSAR BETA Products" section describes the GRFN (Get Ready for NISAR) BETA products. A "Find Sentinel-1 InSAR Data" button is visible. On the right side of the page, there is a map showing deformation from the 2008 Nevada earthquake, with a color scale for range change in millimeters. A vertical button labeled "Get SAR Data" is positioned to the right of the map.

InSAR

About InSAR

Differential interferometric synthetic aperture radar (InSAR) is used to measure displacements on Earth's surface to a precision of a few centimeters or less. InSAR data are largely used to study deformation caused by earthquakes, volcanic eruptions, glacier movements, landslides, and subsidence. They may also be used to examine the distribution of water vapor in the atmosphere, among other applications. For examples of InSAR applications, click on slide show at right.

Sentinel-1 InSAR BETA Products

[Find Sentinel-1 InSAR Data](#)

GRFN (Get Ready for NISAR) BETA products are prototype Level 2 interferometric products created by the Science Data System under development for the NISAR mission. The creation, discovery, and distribution of these products is to inform the NISAR mission team of possible cloud-based processing and data-management solutions. As such, these prototype products are not part of the ASF long-term archive, and may become unavailable at any time as new SAR interferometric processing and delivery methods are explored.

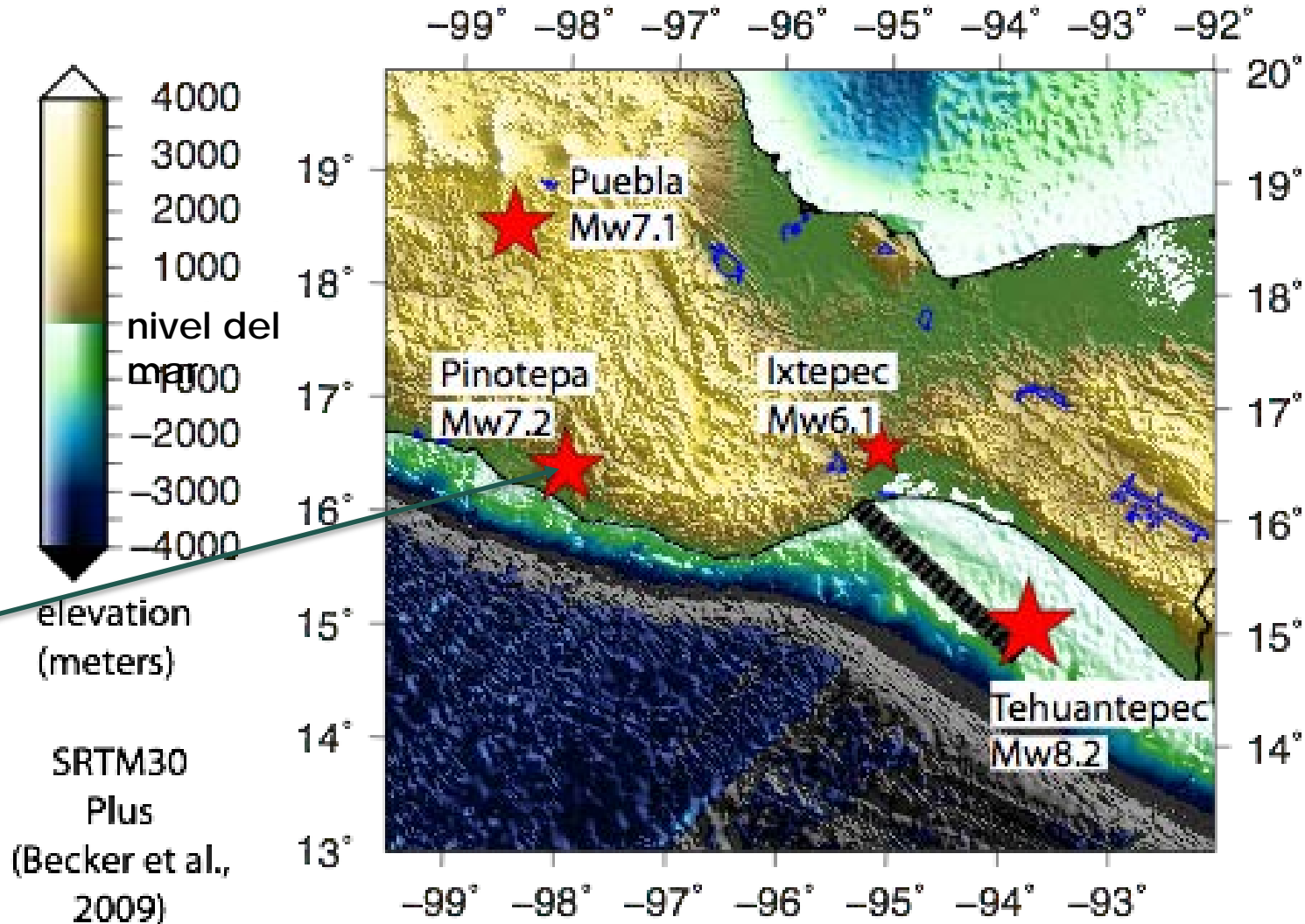
Collections

Deformation resulting from 2008 Nevada earthquake. Image courtesy of Charles Wicks, USGS, © CSA.



Terremotos en el Sur de México 2017–2018

Vamos a echarle un vistazo al terremoto Mw 7.2 del 16 de febrero de 2018 cerca de Pinotepa en Oaxaca



Acceso a Datos de Sentinel-1 para Interferometría

1. Vaya al Alaska Satellite Facility Sentinel Data Portal:
<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>
2. Identifique el área (-99,16,-99,15,-97,15,-97,16,-99,16) y las fechas (2018-02-05, 2018-02-17) de interés (Terremoto M7.2 de Pinotepa en Oaxaca, México)
3. Identifique las imágenes de interés (Sentinel-1 A/B)
4. Seleccione la ruta (path) 5
5. Haga clic en **Search**
6. Seleccione el Gránulo:
S1B_IW_RAW__0SDV_20180205T003836_20180205T003909_009481_0110E0_FEAF
(Frame/Fotograma 49)
7. Descargue el producto L1 Single Look Complex (SLC) (4.76 GB)
8. De manera similar, descargue el SLC para el Gránulo:
S1B_IW_RAW__0SDV_20180217T003836_20180217T003908_009656_0116A5_3F00
(Frame 49)



Acceso a Datos de Sentinel-1 para Interferometría

Dataset: [Sentinel-1B](#)

Granule: [S1B_IW_RAW__OSDV_20180205T003836_20180205T003909_009481_0110E0_FEAF](#)

Granule Details

- Acquisition Date: 2018-02-05
- Beam mode: IW
- Path: 5
- Frame: 49
- Ascending/Descending: Ascending
- Polarization: VV+VH
- Absolute Orbit: 9481
- Frequency: C-Band

Products

[L1 Detected High-Res Dual-Pol \(GRD-HD\)](#)
(1.07 GB)

[L2 Ocean \(OCN\) \(5.57 MB\)](#)

[L1 Single Look Complex \(SLC\) \(4.76 GB\)](#)

Download

+ Queue

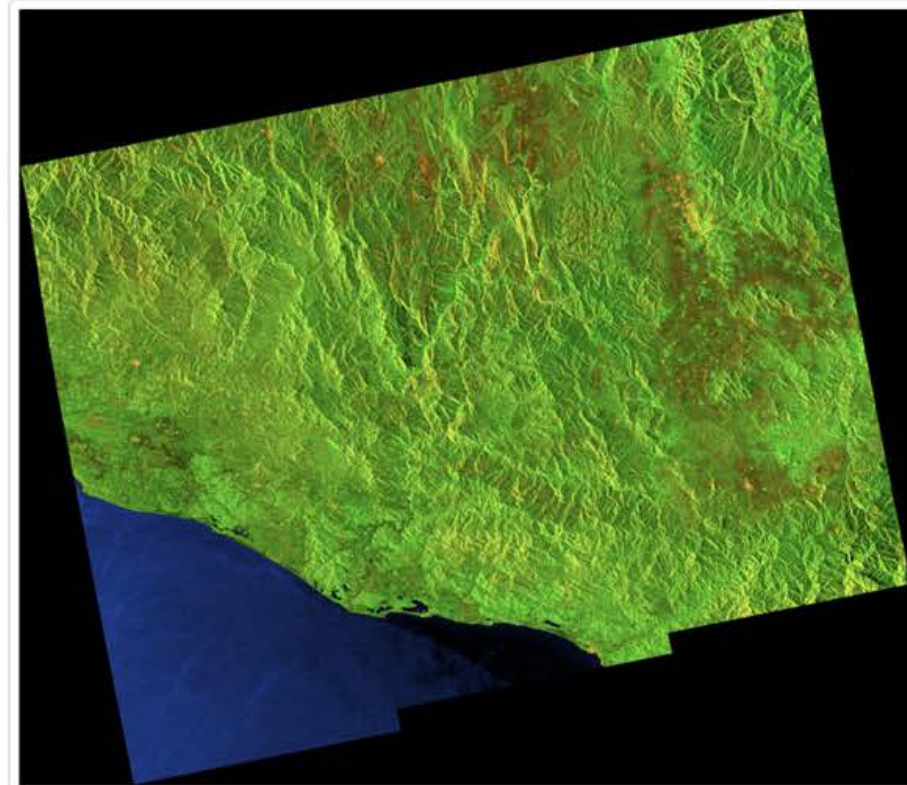
Download

+ Queue

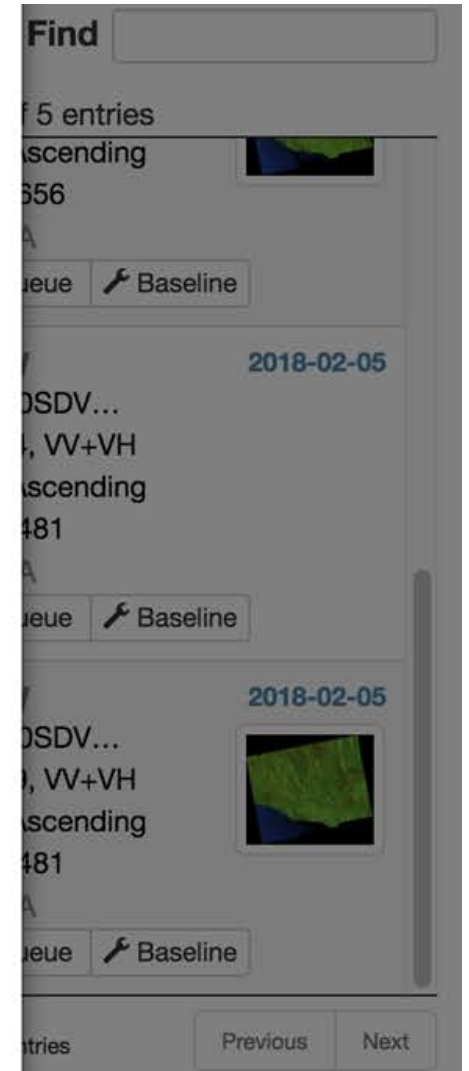
Download

+ Queue

Download



Full Resolution Browse Image



Abriendo los Datos con el Sentinel Toolbox

Utilizamos el mismo software que usamos para el análisis de amplitud de SAR

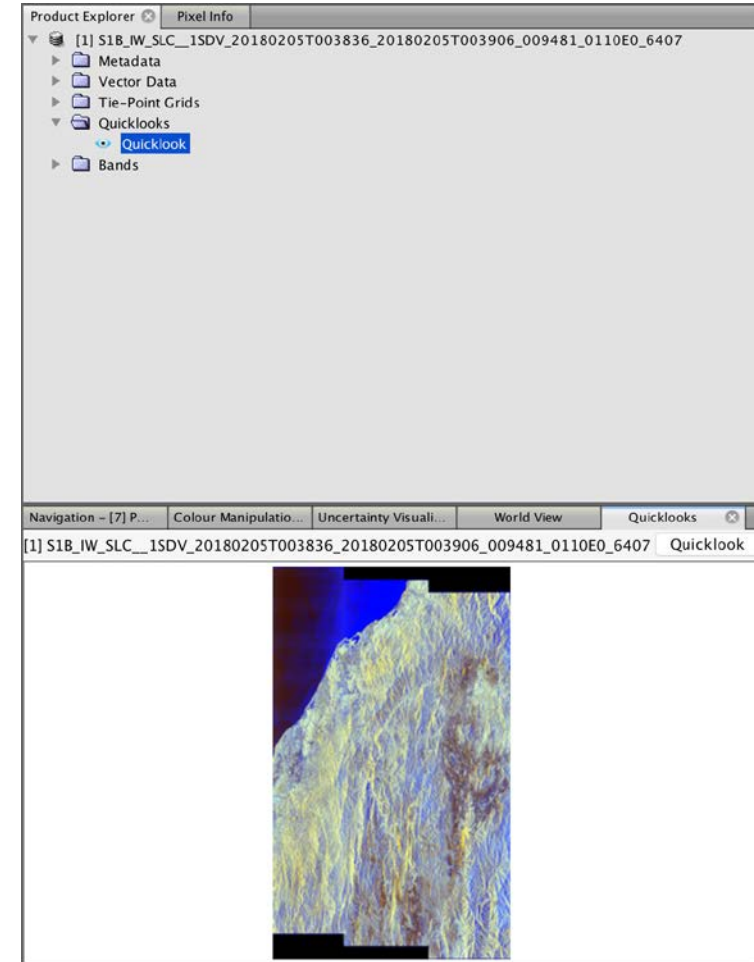
- Inicie el Sentinel Toolbox (SNAP) haciendo clic en el icono en su escritorio
- En la interfaz del Sentinel Toolbox, vaya al menú de **File** y seleccione **Open Product**
- Seleccione la carpeta que contiene su archivo Sentinel-1 SLC y haga doble clic en el archivo .zip (no descomprima el archivo;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



Abriendo los Datos con el Sentinel Toolbox

Los Datos de los SLC Tienen un Formato Diferente a los GRDH

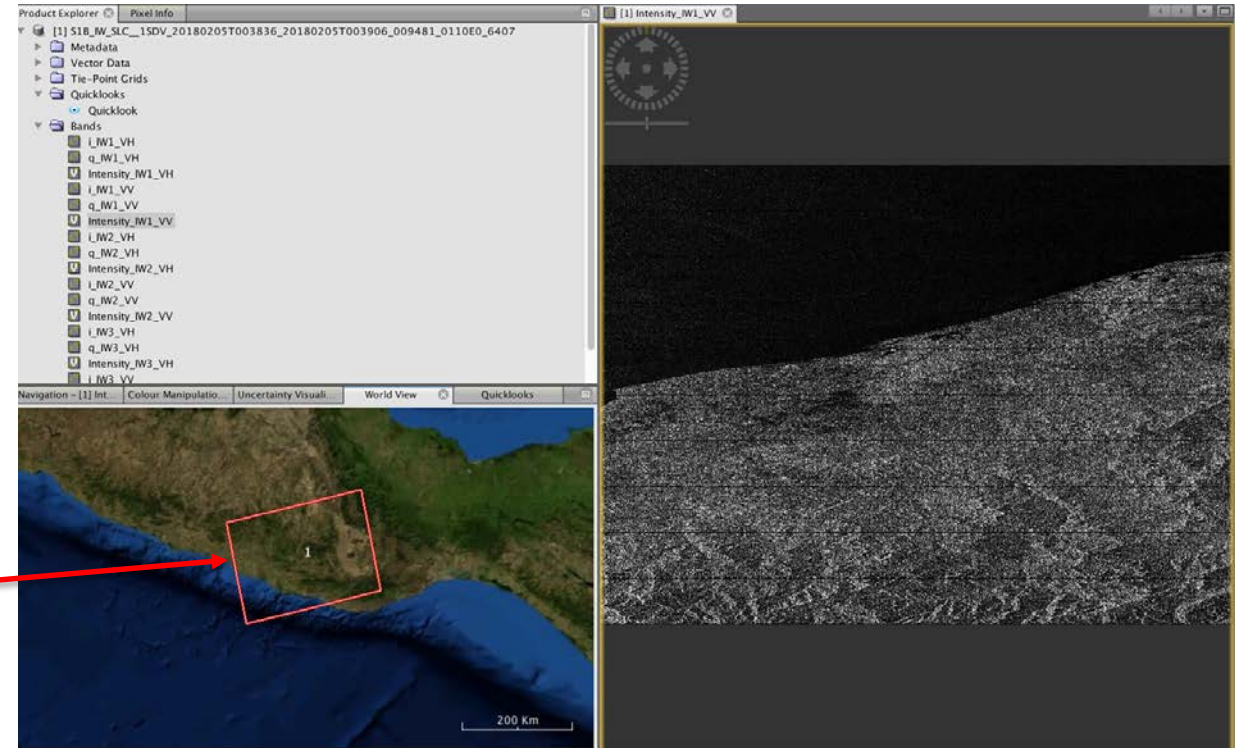
1. La ventanilla Product Explorer del Sentinel Toolbox contiene su archivo. Haga doble clic en el archivo para visualizar las carpetas dentro de él, las cuales contienen información relevante a la imagen, incluyendo:
 - Metadatos: parámetros relacionados con la órbita y los datos
 - Cuadrículas "Tie 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 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)



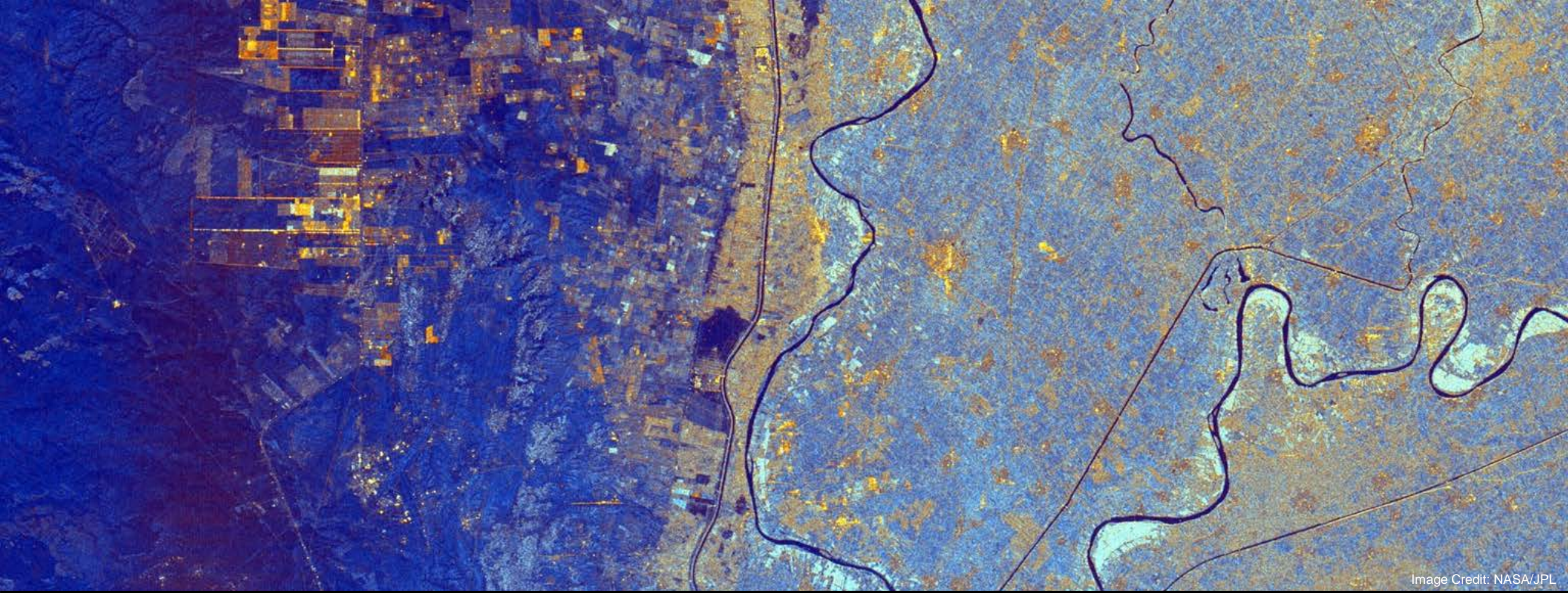


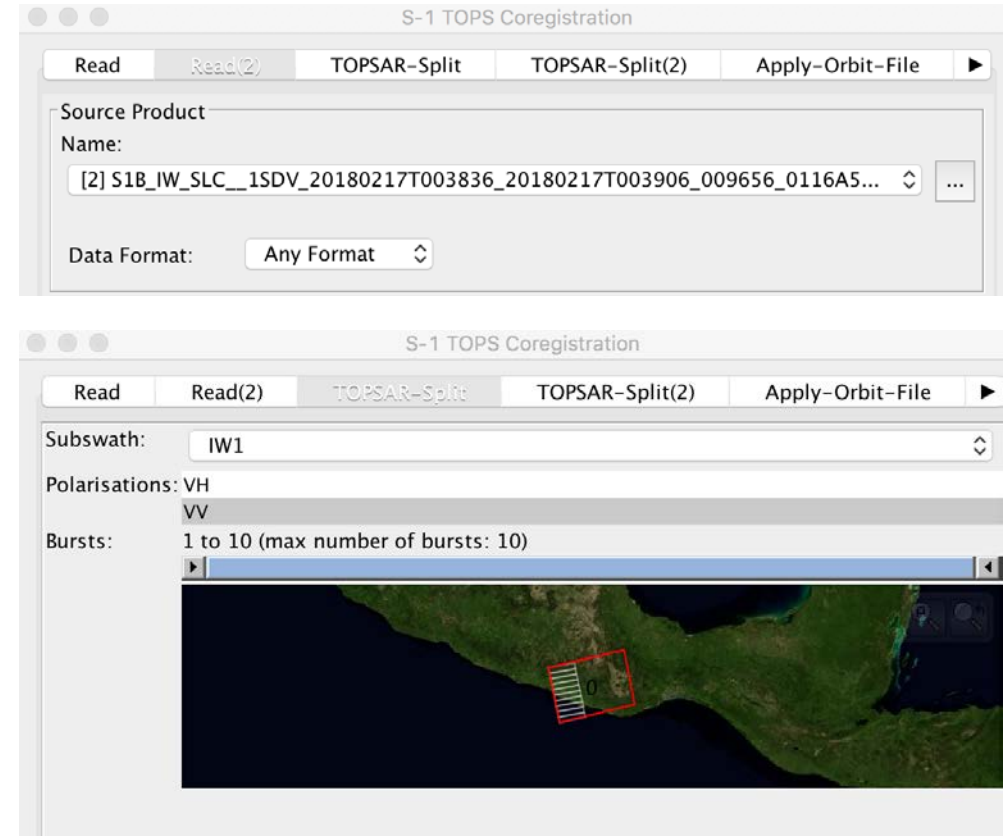
Image Credit: NASA/JPL

Procesamiento InSAR

Preparación de Datos Interferométricos

Co-registrando las Escenas

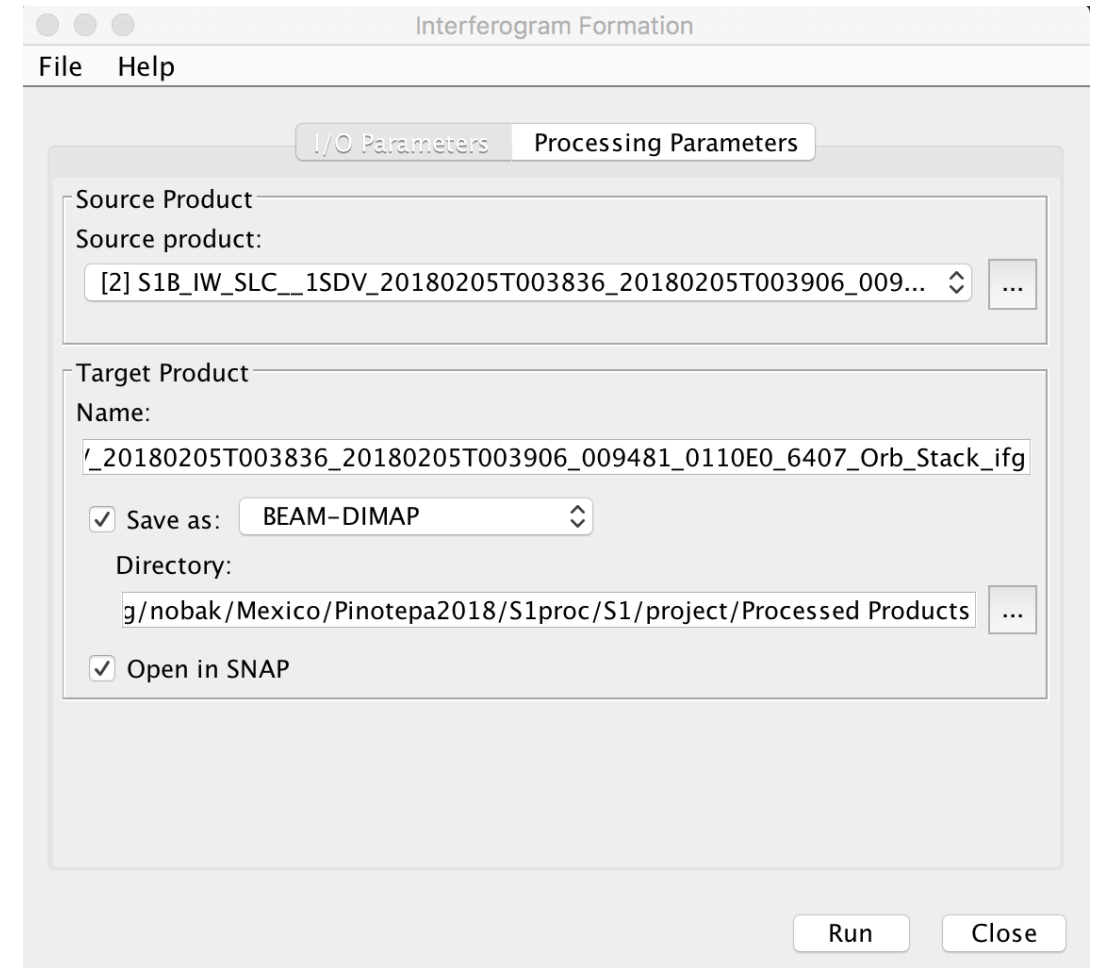
1. El primer paso de la interferometría es co-registrar dos imágenes SLC
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, y después **Coregistration**, luego **S1 TOPS Coregistration**, y finalmente **S1 TOPS Coregistration** nuevamente
 - En la pestaña **Read**, seleccione SLC 20180205 y en la pestaña **Read(2)** seleccione el SLC 20180217
 - En las pestañas **TOPSAR-Split** y **TOPSAR-Split(2)**, seleccione Subswath: IW1 Polarisation: VV
 - En la pestaña de **Write**, seleccione la carpeta donde quiere guardar los resultados de su procesamiento



Procesamiento Interferométrico

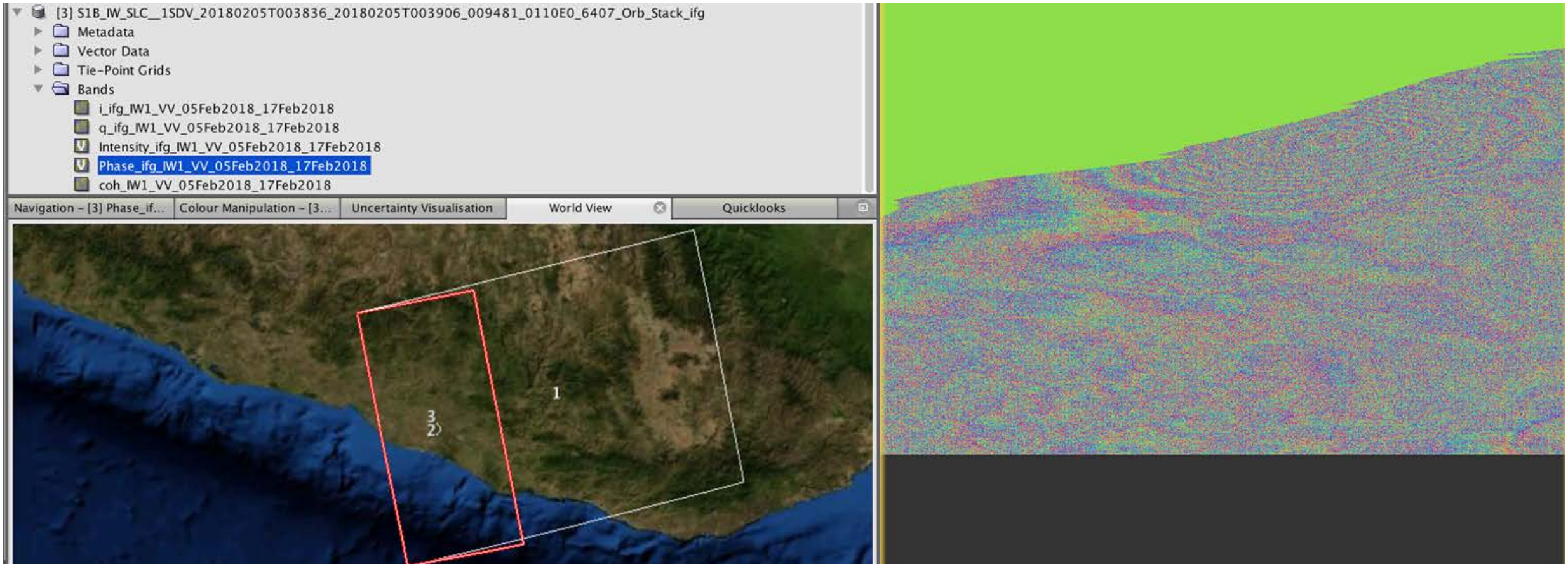
Formando un Interferograma Bruto

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



Procesamiento Interferométrico

Visualizando un Interferograma Bruto — Imagen de Fase



Procesamiento Interferométrico

Debursting* TOPS y Remoción de la Fase Topográfica

1. El siguiente paso de la interferometría con datos de Sentinel-1 modo TOPS (IWS) es el "debursting" o el combinar las tomas (bursts). Esto no es necesario con datos de Sentinel-1 u otros stripmaps SAR.
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Sentinel-1 TOPS** y después **S-1 TOPS deburst**
 - En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el producto "Orb_Stack_ifg" creado por el paso de formación del interferograma
 - Por defecto, al archivo de salida se le agrega "deb" al nombre
 - No necesita cambiar la pestaña de **Processing Parameters**
3. El siguiente paso para toda interferometría es remover la fase topográfica mediante un DEM.
4. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Products** y después **Topographic Phase Removal**
 - 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 TOPS
 - Por defecto, al archivo de salida se le agrega "dinsar" al nombre
 - 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 otro DEM en algunos casos

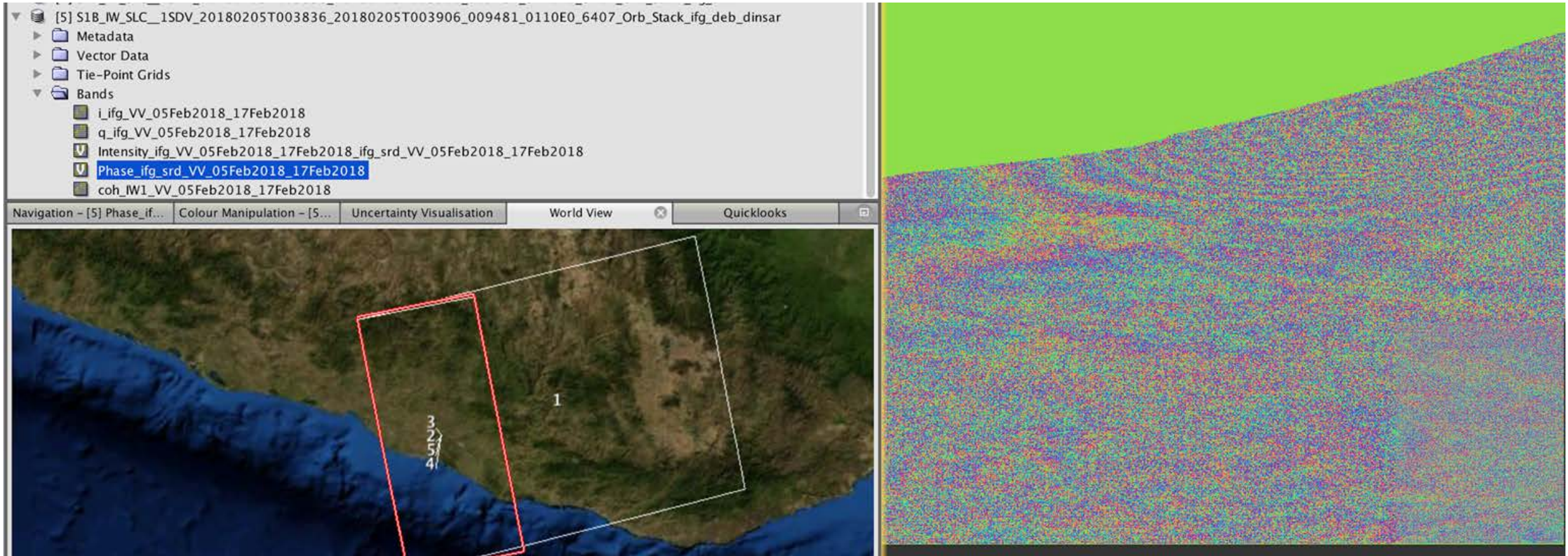
*El "debursting" o "deburst" es una operación que consiste en generar una imagen continua en cuanto al tiempo del azimut removiendo líneas negras de separación así como líneas redundantes entre tomas

NASA's Applied Remote Sensing Training Program



Procesamiento Interferométrico

Visualizando un Interferograma Diferencial — Imagen de Fase



Procesamiento Interferométrico

Filtración y “Multi-Looking” de Interferogramas

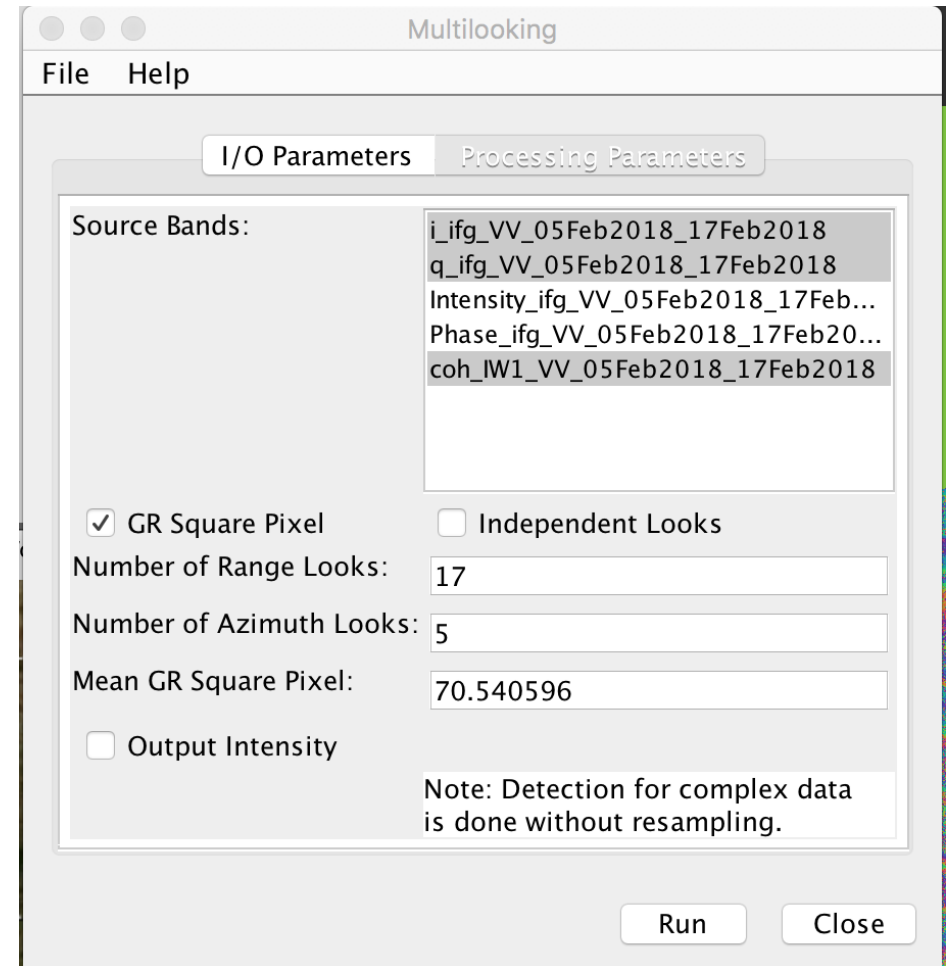
1. Hay dos pasos que pueden reducir el nivel de ruidos en un interferograma, la filtración y el multi-looking. Primero aplicamos la filtración, pero también se puede hacer el multi-looking primero.
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Filtering**, y después **Goldstein Phase Filtering**
 - En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el producto “dinsar” creado en el paso anterior
 - Por defecto, al archivo de salida se le agrega “flt” al nombre
 - Para un procesamiento básico, no hay necesidad de cambiar los valores preprogramados en la pestaña **Processing Parameters**
3. “Multi-looking” significa sacarle 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 ruidos 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



Procesamiento Interferométrico

Interferograma por Multi-Looking

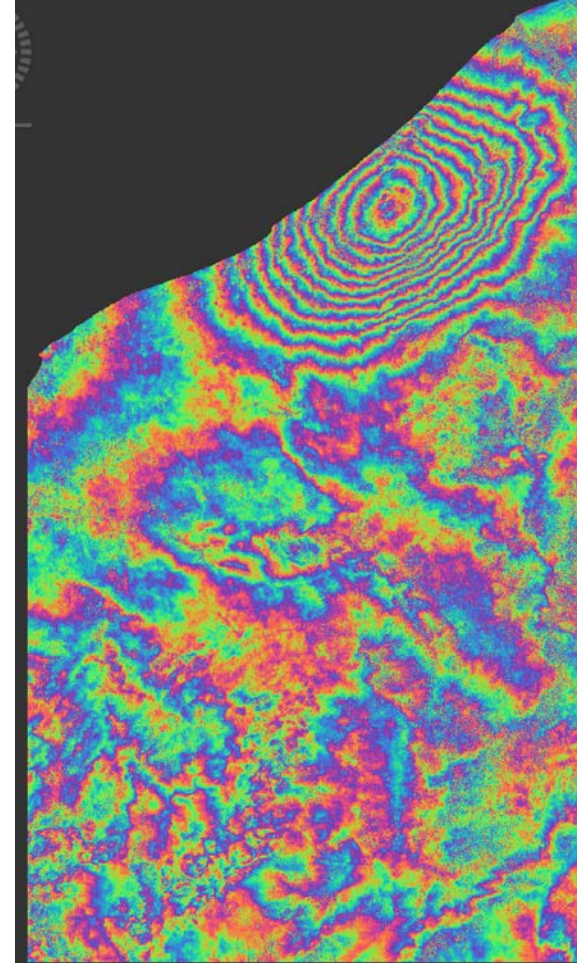
1. El terremoto de Pinotepa tiene una profundidad de aproximadamente 25 km, así que hay bastante espacio entre las franjas. Además, no hay ninguna ruptura superficial, así que podemos hacer más promediación espacial sin perder nada de la señal del terremoto.
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar** y luego **Multilooking**
 - En la pestaña **I/O Parameters**, seleccione el producto “dinsarflt” 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, yo utilizo 17 looks del rango y me calcula 5 looks en el azimut para producir ~70 m pixeles de salida
 - ¡No elijan la banda “Phase”!



Procesamiento Interferométrico

Visualizando Interferogramas Multi-Look

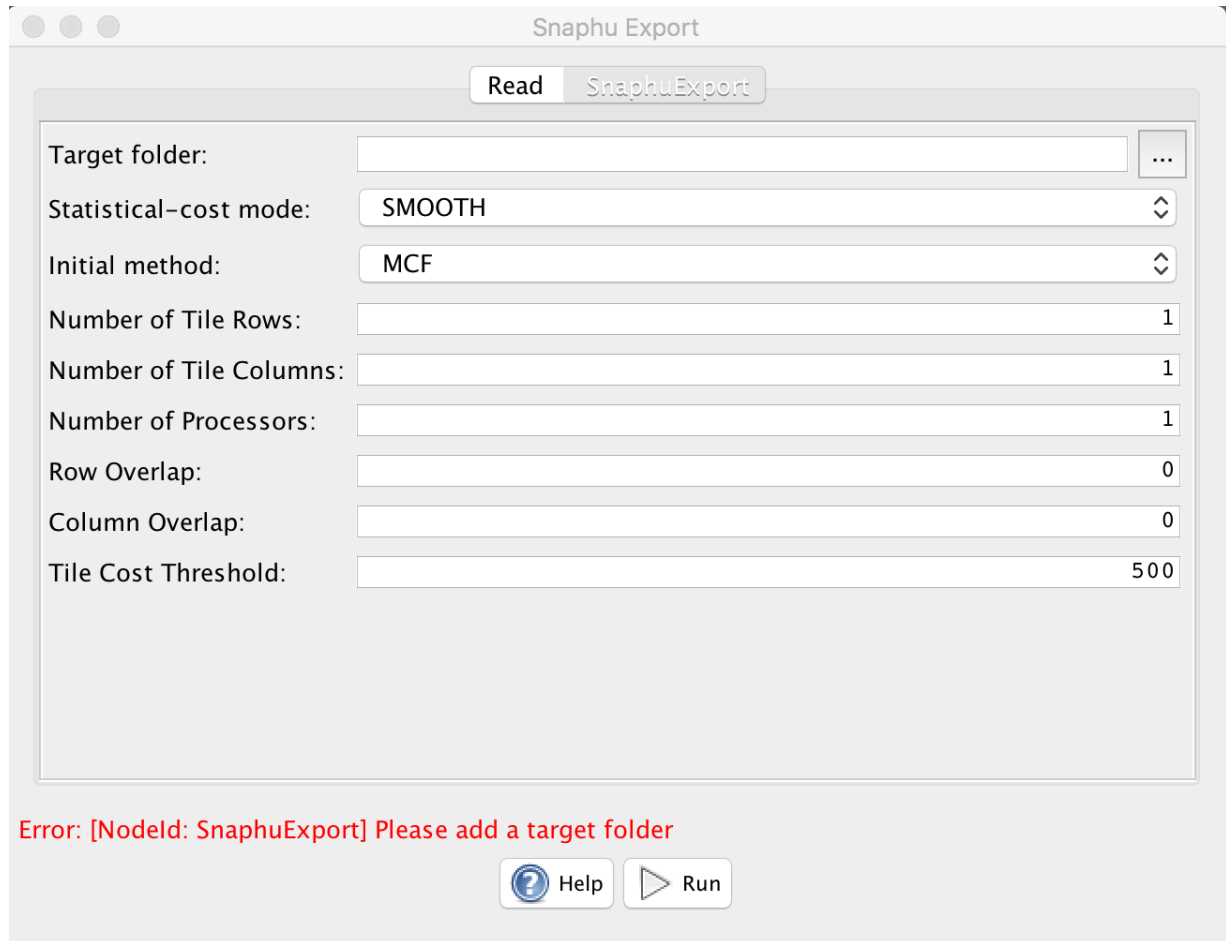
1. Primero, debemos hacer una nueva banda de fase virtual después de realizar el "multi-looking" del interferograma complejo
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Raster**, después **Data Conversion** y luego **Complex i and q to Phase**
3. Ahora puede visualizar la nueva banda de fase
 - Las franjas tienen mucho menos ruidos
 - La relación de aspecto ha cambiado así que los píxeles son casi cuadrados en el suelo
 - La nueva imagen ahora mide 1207 píxeles transversalmente, mucho menos que los 20535 píxeles originales



Procesamiento Interferométrico

Desenvolvimiento de Fase

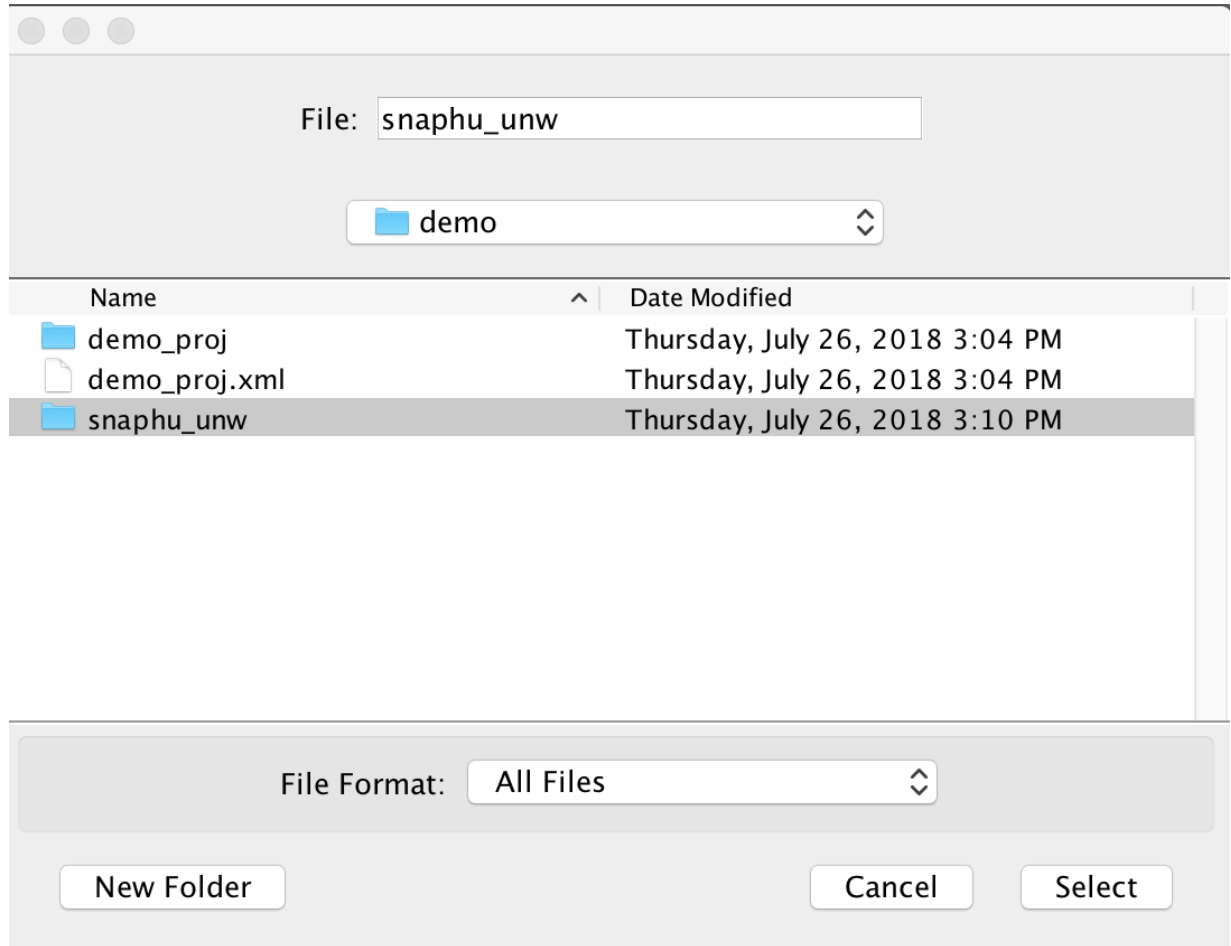
1. SNAP 6.0 no incluye desenvolvimiento de fase. Existe una forma de exportar el interferograma para desarrollarlo con el programa externo Snaphu (Statistical-cost, Network-flow Algorithm for Phase Unwrapping) de Chen y Zebker.
2. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Unwrapping** y después **Snaphu Export**.
 - En la pestaña **Read**, seleccione el producto “ML” creado en el paso del multilooking
 - En la pestaña **Snaphu Export**, cambie el modo Statistical-cost a “SMOOTH”
 - También cambie el número de filas y columnas de tejas y el número de procesadores a “1” porque no necesita más tejas múltiples después del multilooking



Procesamiento Interferométrico

Desenvolvimiento de Fase

1. En la pestaña **Snaphu Export**, también debe especificar una carpeta de destino para los archivos exportados. Yo puse los archivos Snaphu en una carpeta aparte (que aquí se llama "snaphu_unw"), así que hay que crearla en el diálogo de selección o en otra ventanilla.
2. El cuadro de diálogo de **Snaphu Export** pop-up no funciona del todo bien en SNAP 6.0. Solución:
 - Navegue a la carpeta que incluye la carpeta "snaphu_unw"
 - El botón de "select" no funcionará para seleccionar la carpeta "snaphu_unw"
 - Teclee "snaphu_unw" en la casilla de **File:** en la parte superior, luego seleccione **Select**
3. Ahora puede presionar el botón **Run** y SNAP exporta la fase y coherencia del interferograma con un archivo "snaphu.conf"



Procesamiento Interferométrico

Desenvolvimiento de Fase

1. **Instalación de Snaphu:** La ESA ahora ofrece ejecutables binarios prefabricados para sistemas de Windows de 32 o 64 bits en la página: <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/snaphu/>.

Para Macs u otras máquinas hay que descargarlo de Stanford y construirlo uno mismo ("make" en "src" normalmente funciona).

También necesita agregar la carpeta `snaphu/bin` a su ruta.

2. Después del paso **Snaphu Export** en Snap, debe ejecutar el programa Snaphu en la línea de comandos:
 - Navegue a la carpeta "snaphu_unw" y ábrala
 - Debe ver la carpeta con el nombre del producto que exportó, por ejemplo, `S1B_IW_SLC__1SDV_20180205T003836_20180205T003906_009481_0110E0_6407_Orb_Stack_ifg_deb_dinsarflt_ML17`
 - Vaya a esa carpeta

3. Debe ver la fase envuelta del interferograma "Phase_ifg*.img", la coherencia "coh*.img" y un archivo "snaphu.conf".
4. El inicio del archivo "snaphu.conf" muestra el comando Para ejecutar Snaphu, por ejemplo,

```
# Command to call snaphu:  
  
#  
#           snaphu -f snaphu.conf  
Phase_ifg_VV_05Feb2018_17Feb2018.snaphu  
.img 1207
```

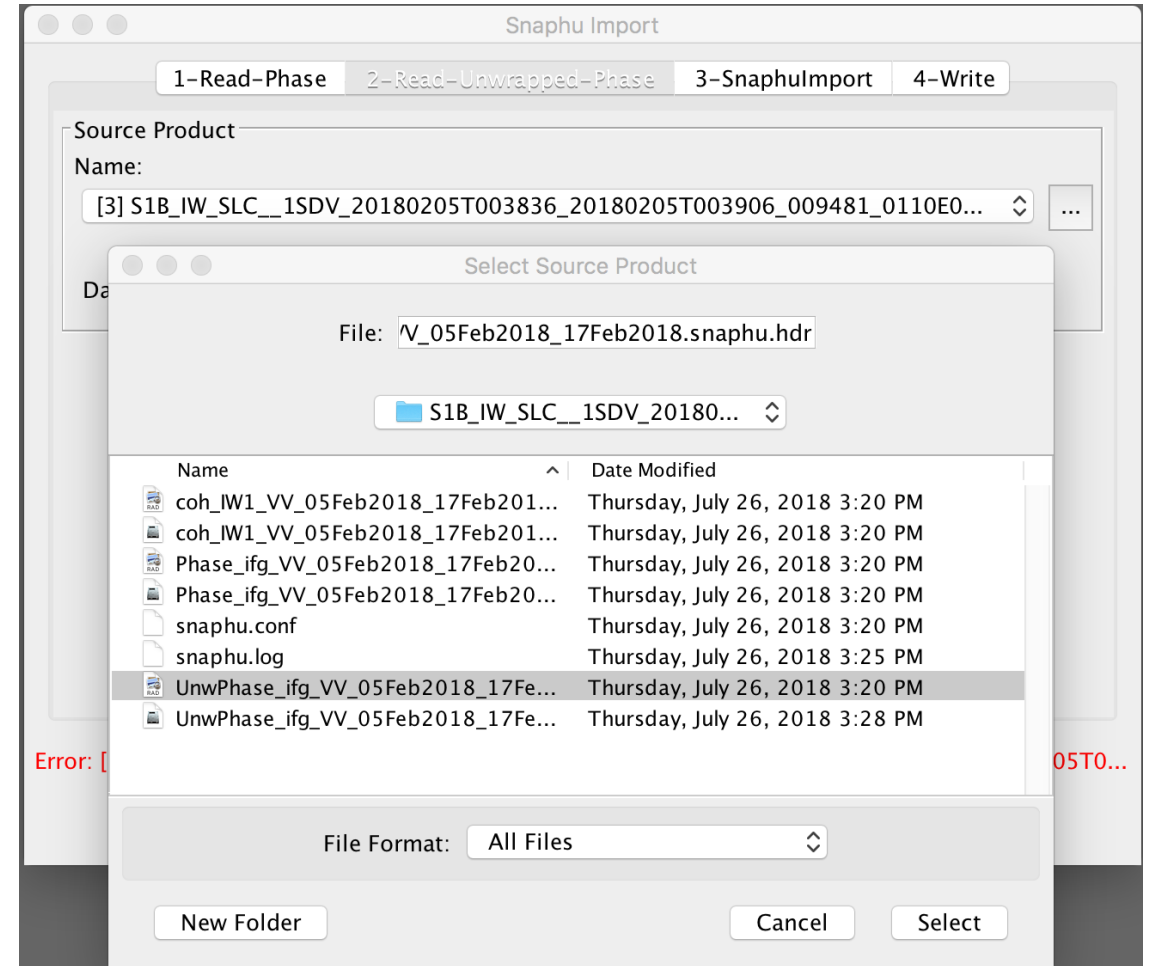
5. Puede que el programa Snaphu tarde en ejecutarse. Al final escribe la fase desenvuelta en un archivo "Unw_ifg*.img"



Procesamiento Interferométrico

Desenvolvimiento de Fase

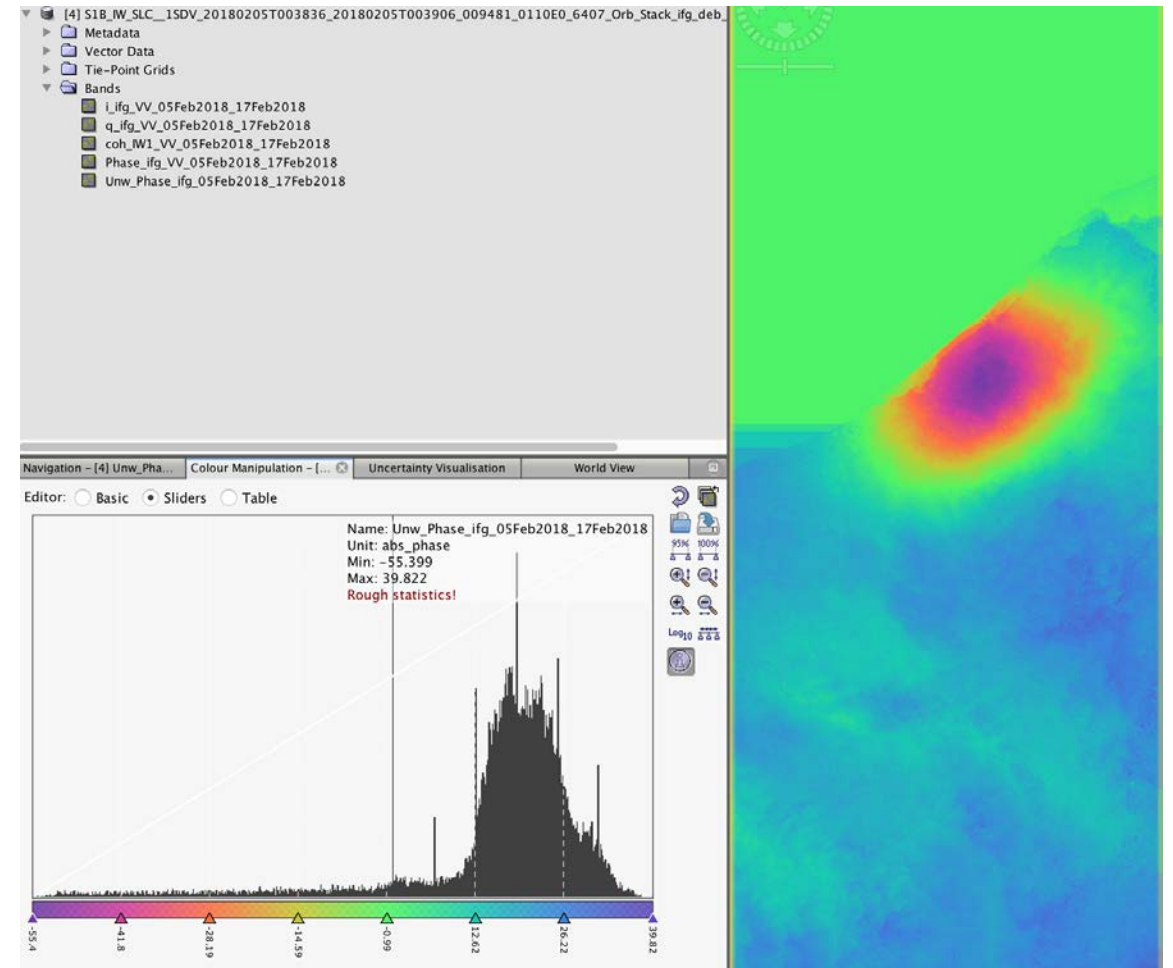
1. Ahora vamos a importar la fase desenvuelta. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Unwrapping** y después **SnapHu Import**.
2. La pestaña **Read-Phase** debe mostrar el producto envuelto que exportó.
3. En la pestaña **Read-Unwrapped-Phase**, seleccione el producto fuente desenvuelto:
 - Navegue a la carpeta a la que exportó SnapHu
 - Seleccione el archivo "UnwPhase_ifg*.snaphu.hdr"
4. Vaya a la pestaña **Write** y revise el nombre del archivo de salida (yo le agrego "_unw" al nombre del producto envuelto y así tengo un producto nuevo)



Procesamiento Interferométrico

Desenvolvimiento de Fase

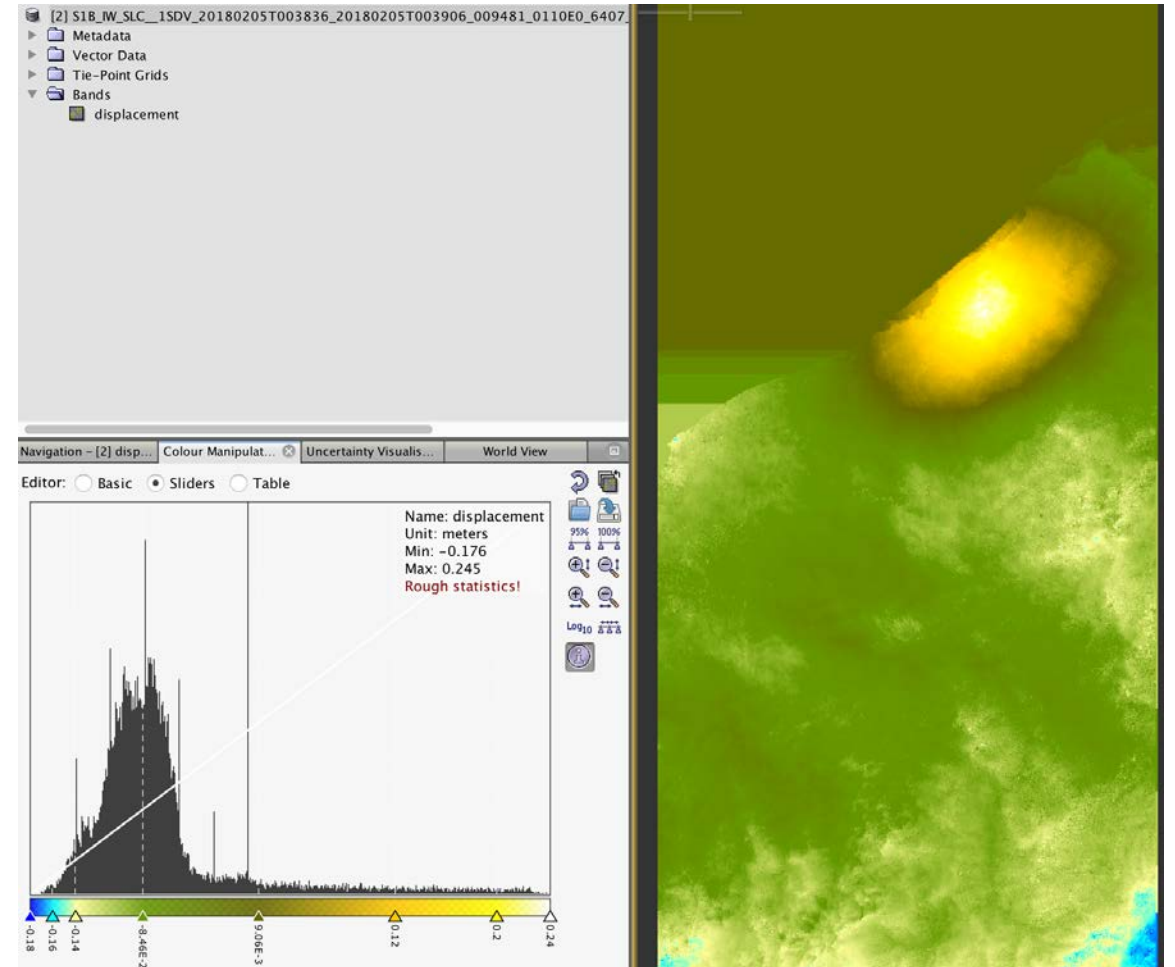
1. Ahora, finalmente podemos visualizar la fase desenvuelta
 - Seleccione la banda Unw_Phase_ifg
 - Vaya a la pestaña **Colour Manipulation** y seleccione "100%" para estirar la escala cromática para que contenga la gama completa de los datos desenvueltos
 - La fase desenvuelta sigue en radianes
 - La fase es la imagen de referencia menos la imagen co-registrada. Si la imagen de referencia es anterior, la fase negativa representa suelos en movimiento hacia el satélite (cambio de rango negativo)



Procesamiento Interferométrico

Conversión de Fase en Desplazamiento

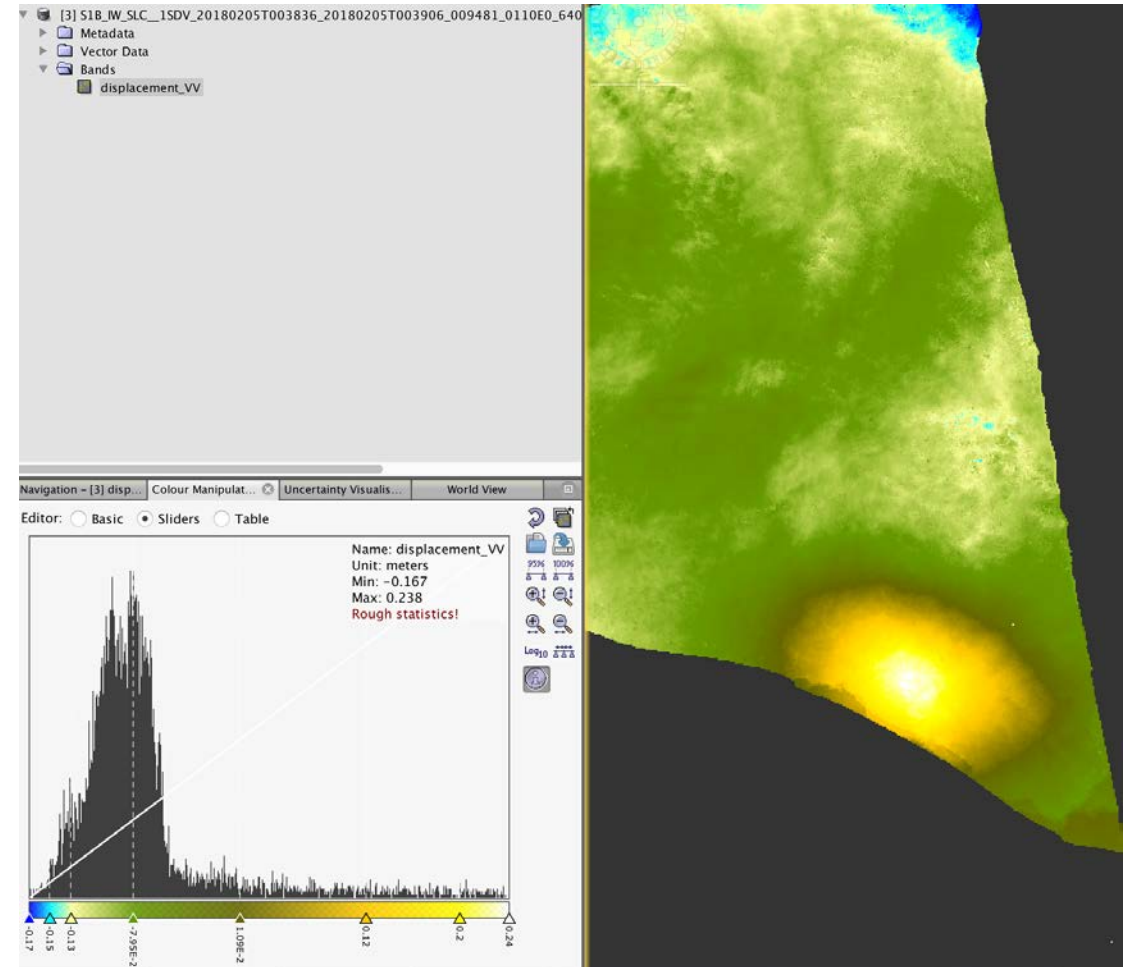
1. Podemos convertir la fase desenvuelta en desplazamientos. En el menú de la barra superior, seleccione **Radar**, luego **Interferometric**, luego **Products** y después **Phase to Displacement**.
 - La pestaña **I/O Parameters** debe contener el producto desenvuelto que importó.
 - por defecto, se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



Procesamiento Interferométrico

Resultados de geocodificación—Corrección por Topografía

1. SNAP llama a la geocodificación con topografía "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 objetivo
 - Bajo la pestaña **Processing Parameters**, seleccione **Source Bands** y cualesquiera **Output Bands** adicionales. También puede elegir cuál DEM utilizar, espaciamiento de salida y proyección cartográfica.
2. Ahora podemos visualizar la banda **displacement_vv** del resultado geocodificado. Nuevamente, es mejor estirar los colores.
 - El desplazamiento está en metros con valores positivos significando "arriba" hacia el satélite en la dirección de la línea visual.
 - El producto ahora está espaciado de manera uniforme en latitud y longitud.



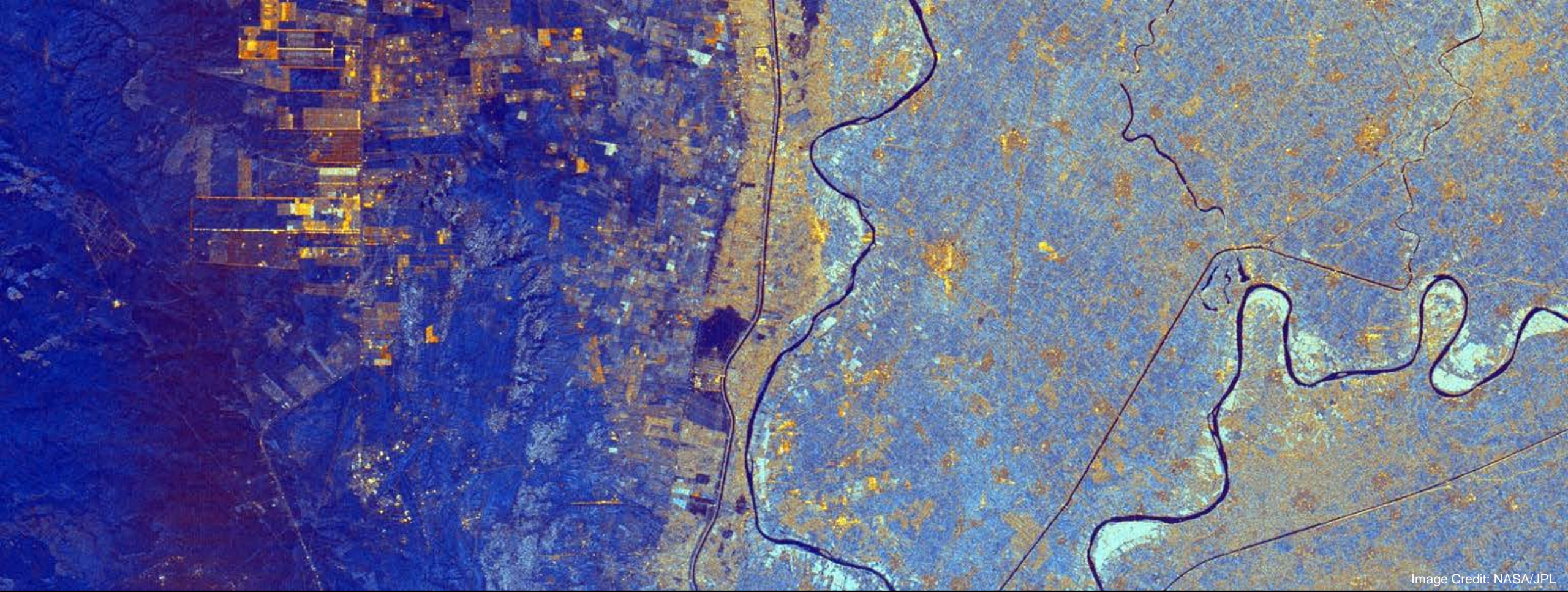


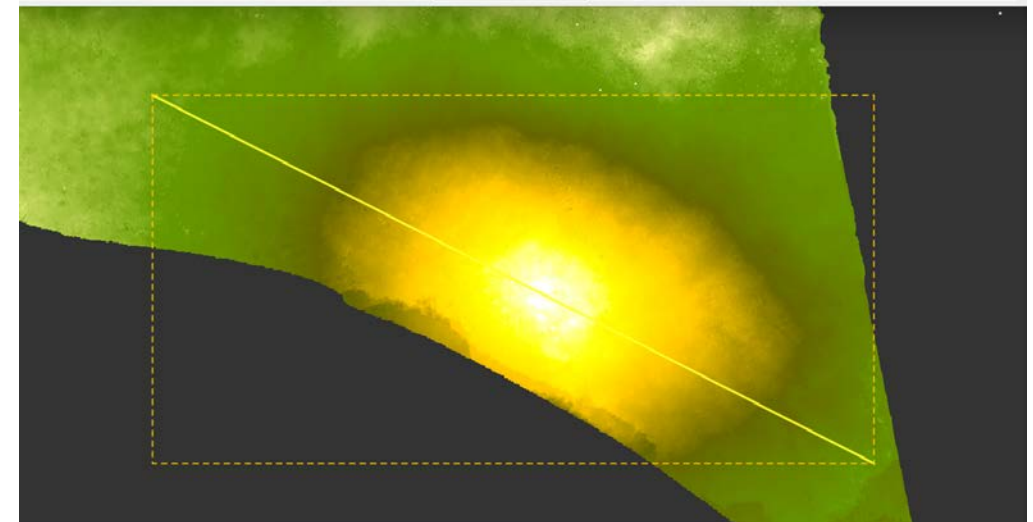
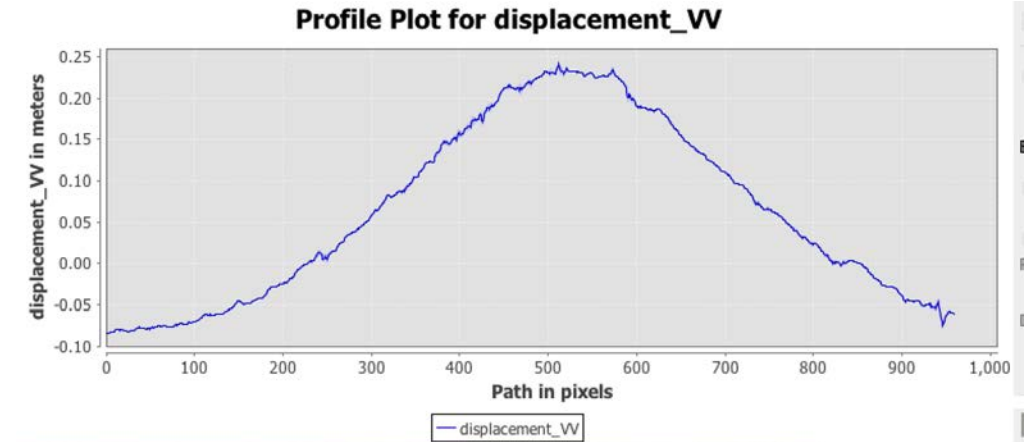
Image Credit: NASA/JPL

Análisis InSAR para Terremotos

Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Perfiles de Desplazamiento

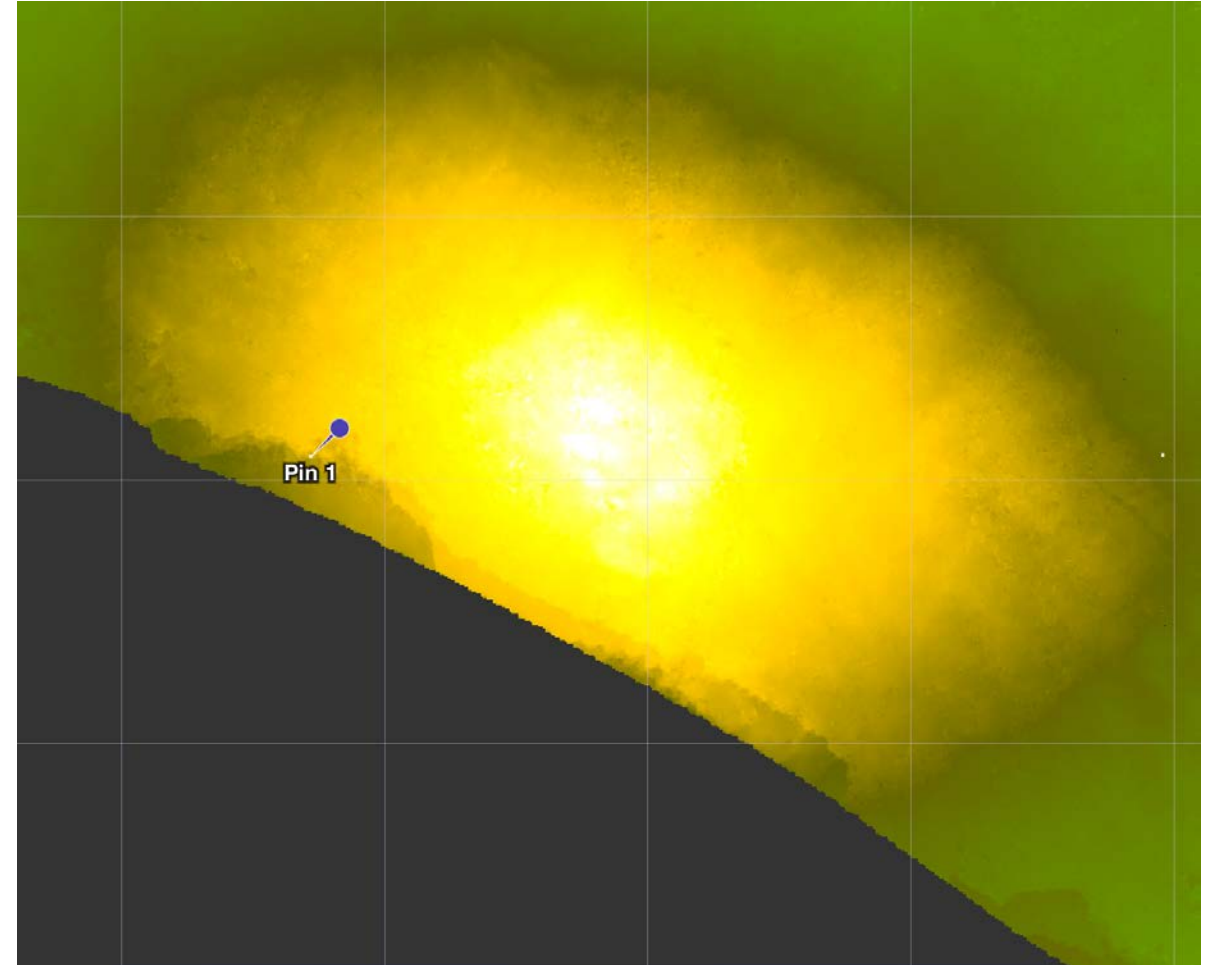
1. Utilice la herramienta para dibujar líneas (barra superior de la ventanilla de SNAP) para dibujar una línea transversal a la señal.
2. Ejecute el **Analysis>Profile Tool** para ver el desplazamiento a lo largo del perfil.
3. Recuerde que los desplazamientos de InSAR son relativos
 - En este caso, el desplazamiento lejos de la señal es aproximadamente -0,1 m, lo cual probablemente representa el decalaje del cero
 - El máximo es aproximadamente 0,24 m, pero necesitamos restarle el decalaje del cero para obtener un desplazamiento total de aproximadamente 0,35 m



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Desenvolviendo Errores

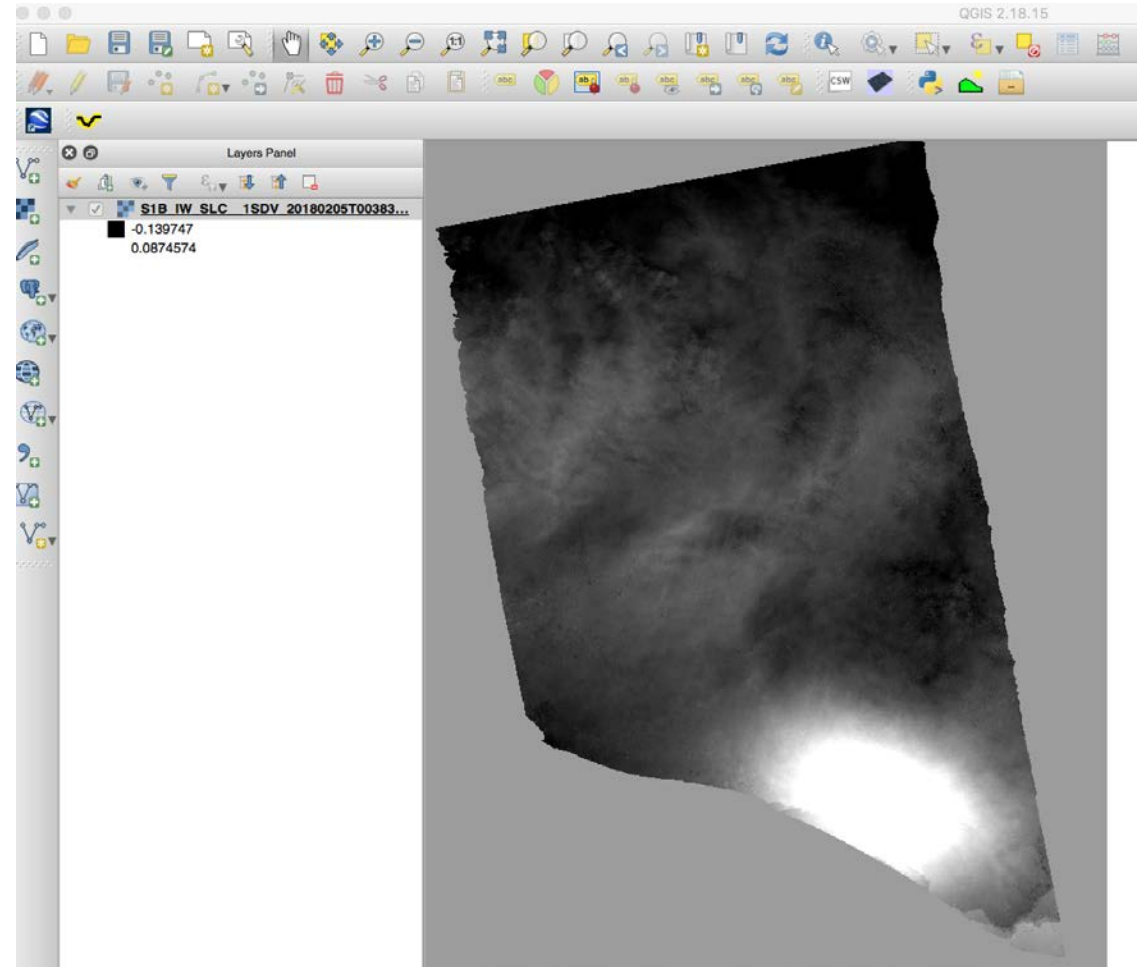
4. Amplíe la señal principal.
5. Fíjese en las discontinuidades notorias en el desplazamiento cerca de la costa en mi interferograma (puede que el suyo sea diferente):
 - El Pin 1 en la figura apunta a la mayor discontinuidad
 - Regrese al interferograma envuelto y mire las franjas
 - El interferograma envuelto contiene ruidos en esa ubicación pero parece continuo, así que lo más probable es que sea un error de desenvolvimiento
 - Puede que necesite ajustar la filtración y el multilooking para obtener un mejor desenvolvimiento



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Exportando el Mapa de Desplazamiento

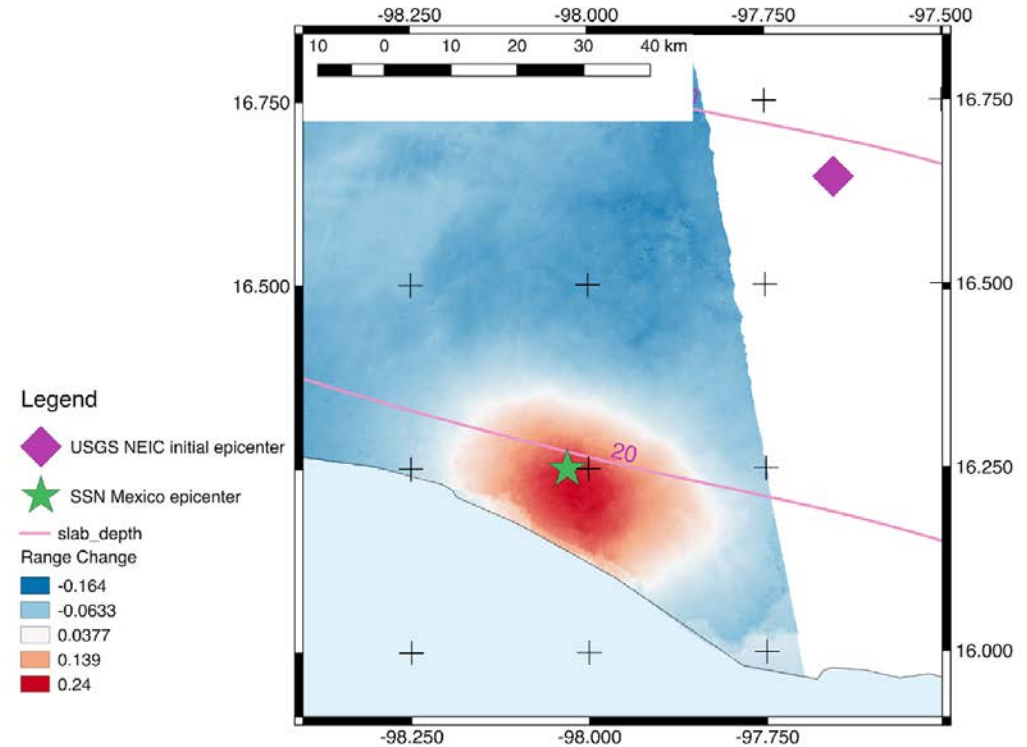
1. Para más análisis, puede utilizar Matlab, QGIS, ArcGIS o alguna otra herramienta de análisis. QGIS es una gran herramienta de fuente abierta además de gratuita (<https://qgis.org>).
2. Se puede exportar el mapa de desplazamiento geocodificado con la función **File>Export**
3. Para un análisis con GIS, el formato GeoTIFF normalmente funciona bien
4. En QGIS, se puede usar "Add Raster Layer" para leer el archivo GeoTIFF.



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Comparación con Otros Datos

1. En QGIS, uno puede modificar la escala cromática y cargar otros datos de varias fuentes
2. También se puede agregar anotaciones como barras de escala, etiquetas y leyendas en QGIS Print Composer
3. Aquí, he agregado epicentros de dos fuentes (USGS preliminar y SSN México preliminar) y contornos de profundidad de la placa que experimenta subducción de la base de datos Slab1.0 (Hayes et al., 2012)



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

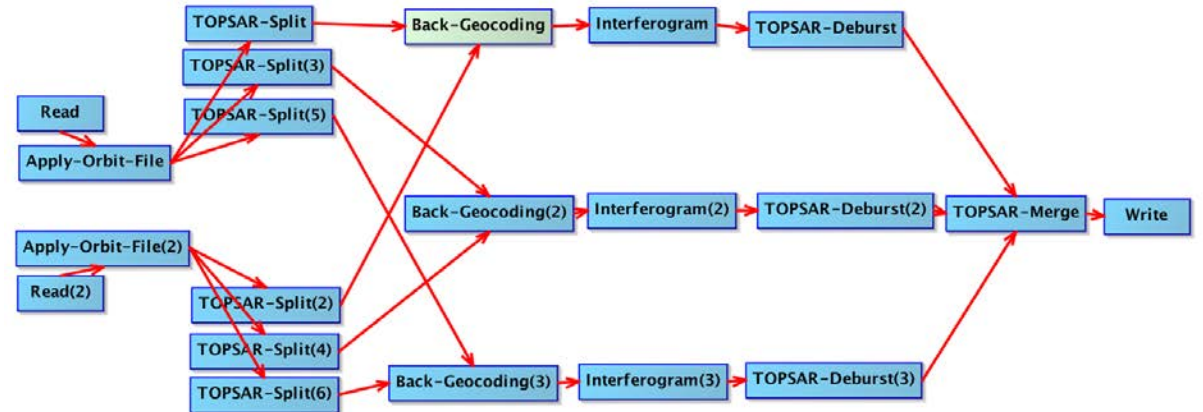
Combinando Sub-barridos

1. Para este terremoto, la mayor parte del desplazamiento ocurre en el sub-barrido IW1 que procesamos de este recorrido
2. Para un análisis más completo, debemos procesar por lo menos el sub-barrido IW2 adyacente y después utilizar **TOPSAR Merge**
3. SNAP tiene gráficos o combinaciones de pasos incorporados en un solo flujo de trabajo bajo **Tools>Graph Builder**, luego el botón **Load**.
4. La creación de gráficos puede ocupar mucha memoria (muchísimo más que hacer cada paso por separado), pero también se los puede utilizar para ver el orden de pasos correcto (Aquí se ve **TOPSAR Coreg Interferogram IW All Swaths.xml**)

SNAP - Load Graph

InSAR Graphs

Name	Date Modified
BandSelect-Coreg-Interferogram-Filter.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM
Deformation-Pre-Processing-Snaphu.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM
Deformation-Pre-Processing.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM
DEM-Generation-Pre-Processing-Snaphu.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM
DEM-Generation-Pre-Processing.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM
TOPSAR Coreg Interferogram IW All Swaths.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM
TOPSAR Coreg Interferogram.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM
TOPSAR Slices Coreg Interferogram.xml	Monday, May 21, 2018 9:08 PM



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Getting Ready For NISAR (Preparándonos para NISAR)

1. Caltech-JPL ARIA y ASF tienen un proyecto colaborativo llamado Getting Ready for NISAR (GRFN)
2. Algunos productos de interferogramas de Sentinel-1 "Beta" fueron procesados por ARIA y almacenados en el ASF Archive
3. En nuestra búsqueda de ASF Vertex original, había un producto GRFN disponible que es dos "rebanadas" y los tres sub-barridos costurados juntos:
Granule s1-IFG_STITCHED_TN005_20180217T003906-20180205T003836_s123_along-7556-v1.2.1-standard
4. Se puede descargar el **Unwrapped Interferogram and Coherence Map**

Granule Information

Dataset: [Sentinel-1 Interferogram \(BETA\)](#)

Granule: [S1-IFG_STITCHED_TN005_20180217T003906-20180205T003836_s123_along-7556-v1.2.1-standard](#)

Granule Details

- Acquisition Date: 2018-02-17
- Beam mode: IW
- Path: 5
- Frame: N/A
- Ascending/Descending: Ascending
- Polarization: VV
- Absolute Orbit: 9656
- Frequency: C-Band

Products

[Sentinel-1 All Interferometric Products \(BETA\) \(908.88 MB\)](#)

[Sentinel-1 Unwrapped Interferogram and Coherence Map \(BETA\) \(284.71 MB\)](#)

[Sentinel-1 Full Resolution Wrapped Interferogram and DEM \(BETA\) \(1.16 MB\)](#)

Download

+ Queue

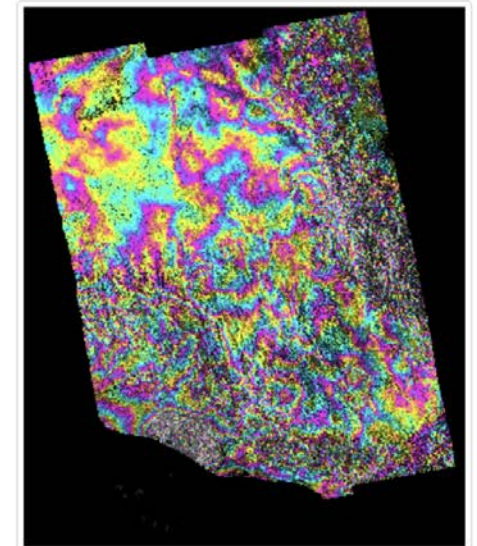
↓ Download

+ Queue

↓ Download

+ Queue

↓ Download



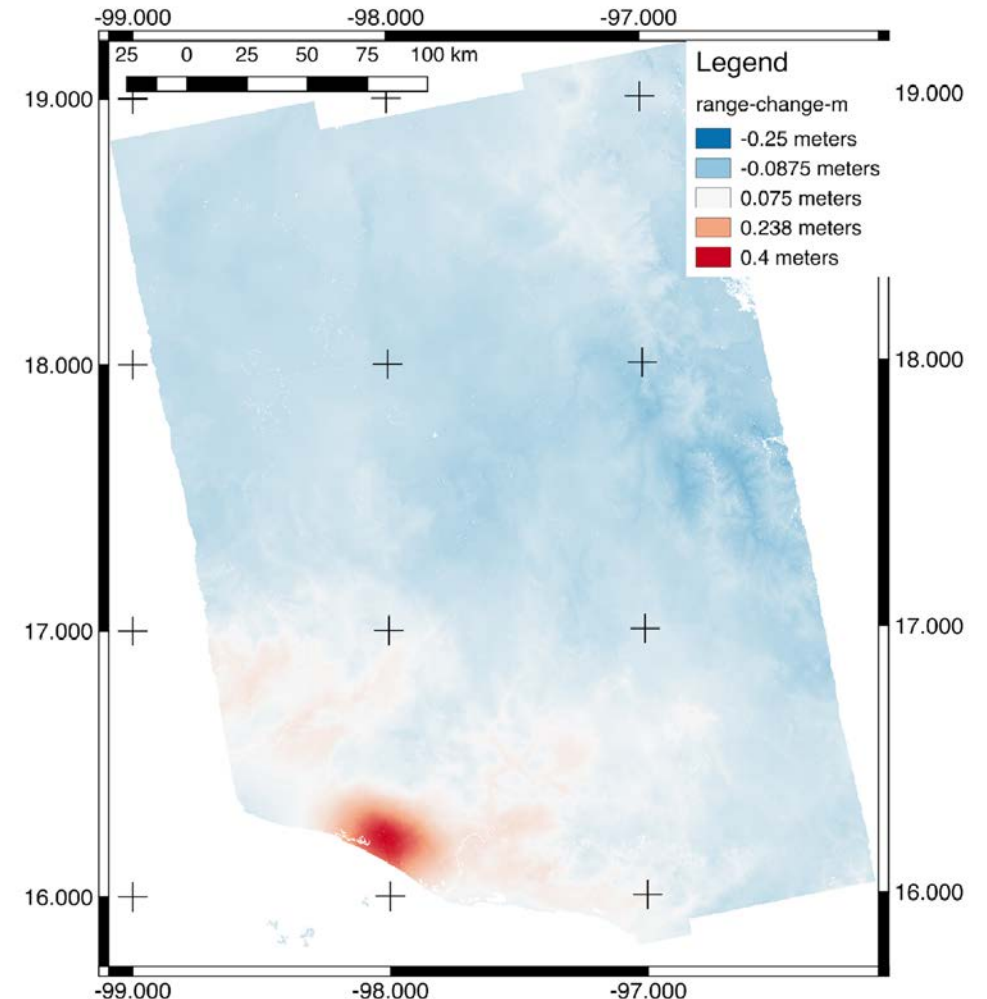
Full Resolution Browse Image



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Getting Ready For NISAR (Preparándonos para NISAR)

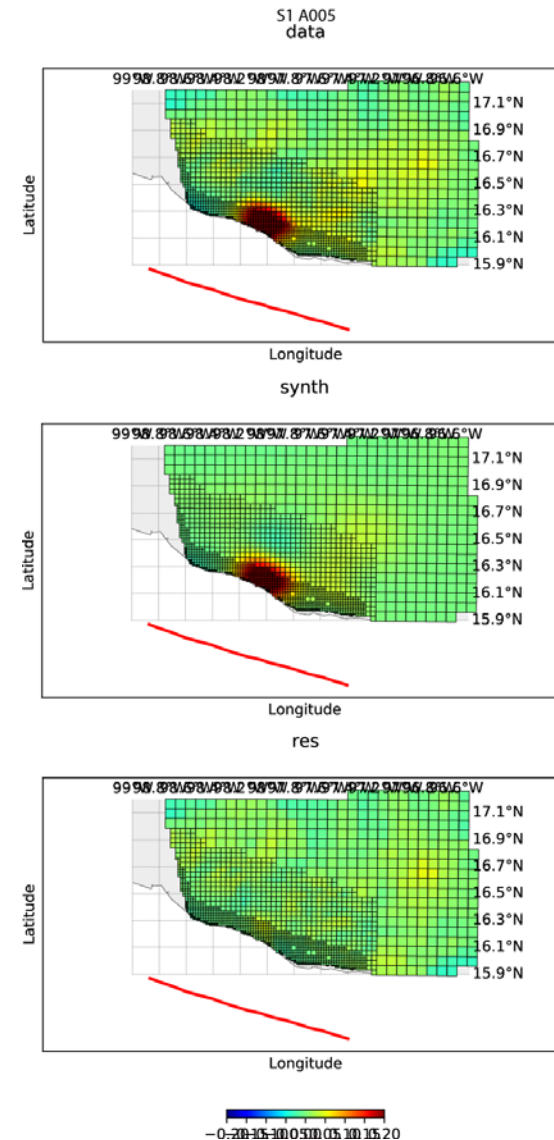
5. Los interferogramas productos de GRFN Sentinel-1 "Beta" están en el formato InSAR Scientific Computing Environment (ISCE)
6. QGIS puede leer el archivo ".vrt" para cargar la capa de ráster
7. Este mapa es un interferograma GRFN desarrollado completamente costurado convertido en desplazamiento
8. Note que muchas variaciones que aparecen lejos del terremoto en realidad probablemente son vapor de agua en la atmósfera



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Modelación de Terremotos

1. La modelación del deslizamiento a lo largo de una falla (fault slip) es un tema geofísico avanzado
2. Se puede usar uno o más de los interferogramas para estimar el slip de una falla a cierta profundidad con métodos de inversión
3. Se hace un muestreo del interferograma en unos 500-1000 puntos (imagen superior)
4. Luego la inversión determina el slip de la falla y estima un interferograma sintético (imagen del medio)
5. La diferencia o residual muestra cuán bien el modelo de slip cuadra con los datos (inferior)



Análisis de Desplazamiento por Terremotos

Modelación de Terremotos

6. Vista en el mapa de un modelo de slip de una falla en tejas de 5 por 5 km
7. Falla de la base de datos Slab
8. Inversión de slip completamente Bayesiana de Caltech AITar (Minson et al., 2012)
9. Se utilizó GPS, tres interferogramas Sentinel-1 (A005, D143, D070) y un interferograma ALOS-2

