

Introducción a Interferometría SAR - Generación de DEM

Nicolás A. Grunfeld Brook - ngrunfeld@conae.gov.ar

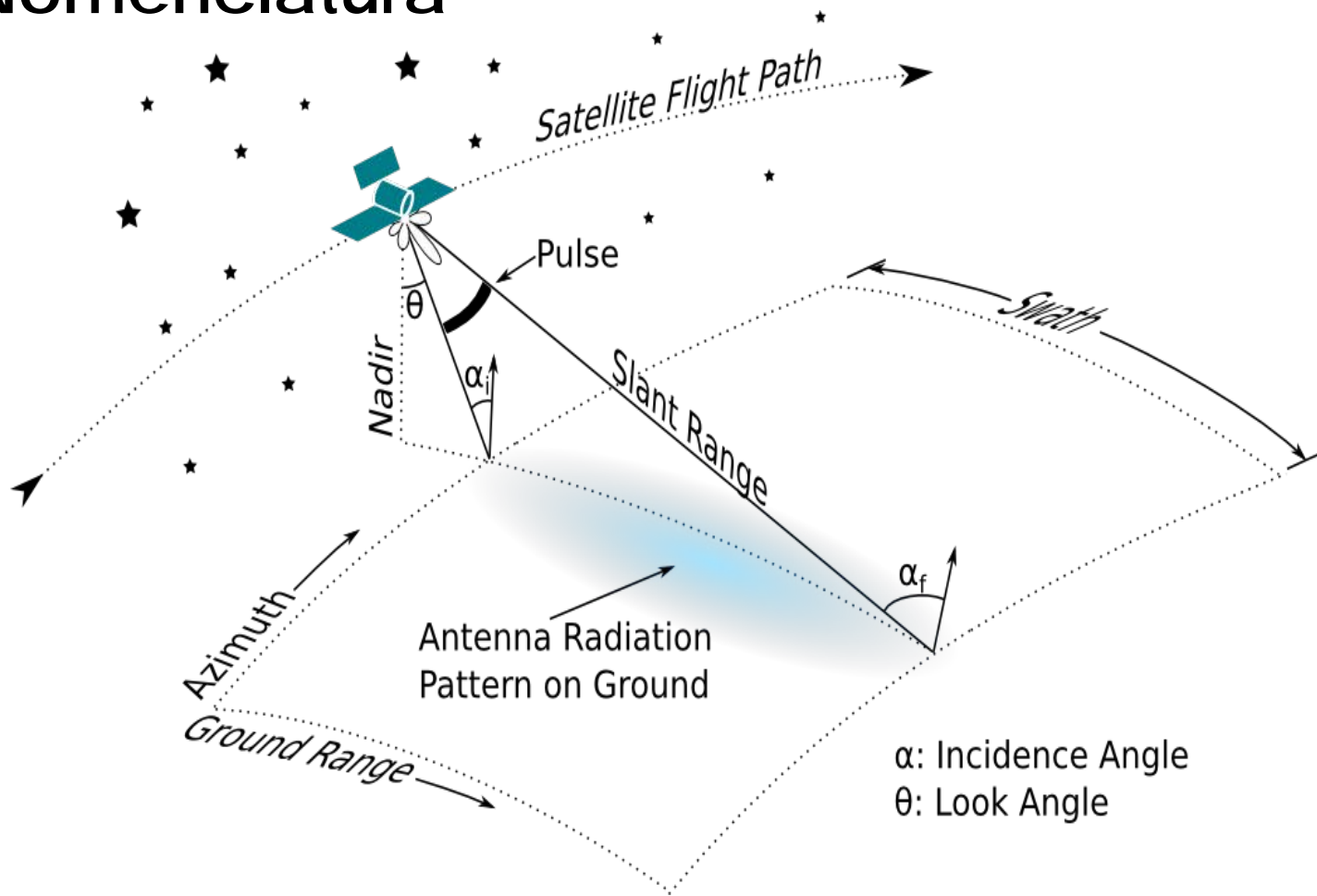
Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)

Objetivos de Aprendizaje

- Imagen SAR:
 - Diferencia entre amplitud y fase
 - Potencialidades de la fase
- Interferometría SAR:
 - Fase interferométrica
 - Sensibilidad a la topografía y la deformación
 - InSAR / DInSAR
 - Factores que afectan la fase interferométrica
 - Workflow básico para generación de DEM



Nomenclatura



α : Incidence Angle
 θ : Look Angle

SAOCOM (banda L)

Frecuencia portadora: 1.3 GHz

Longitud de onda: 23 cm

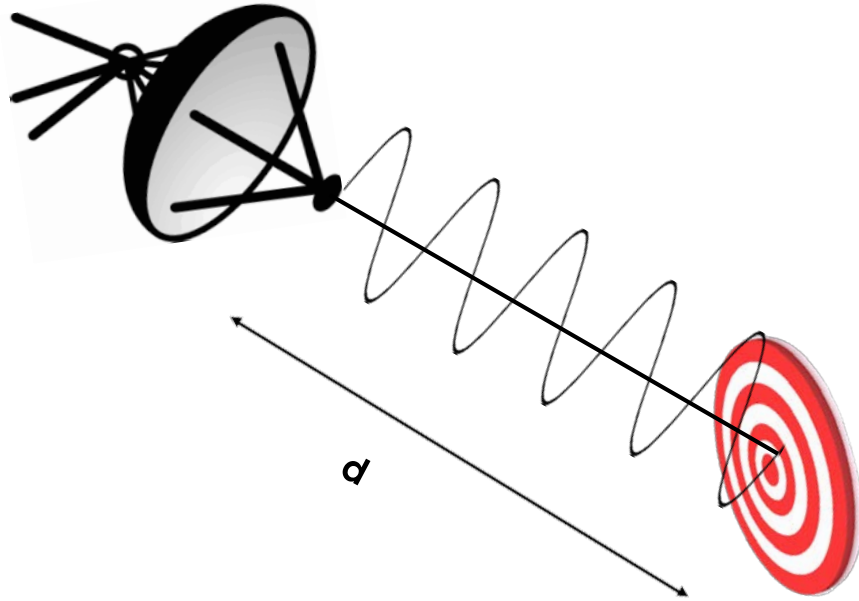
PRF: ~2000 Hz

Frecuencia muestreo/sampleo rango: ~50 MHz

Ancho de banda rango: ~50 MHz

Ancho de banda azimut: ~1800 Hz

Amplitud vs Fase



Amplitud:

- Energía retrodispersada hacia el sensor, depende de las características del blanco o target iluminado (rugosidad, absorción, etc)

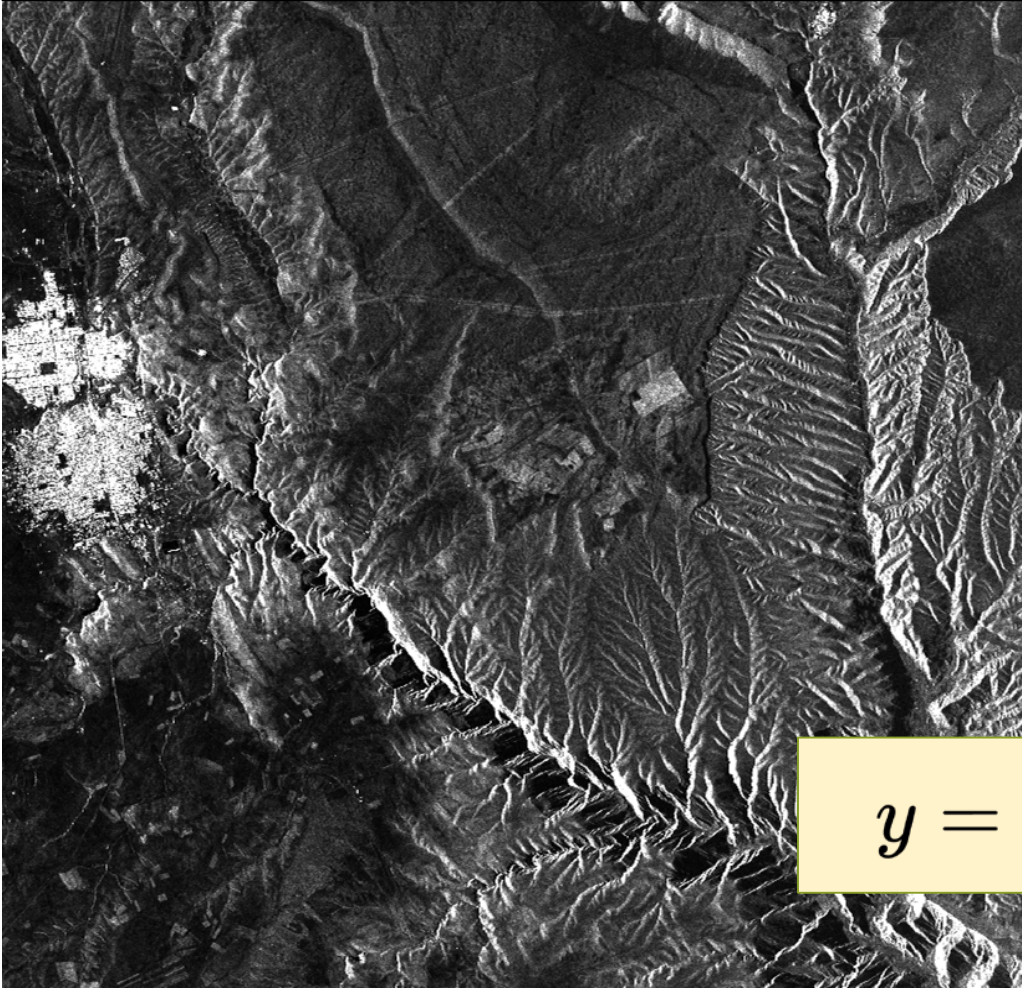
Fase:

- La distancia **d** entre el sensor y el target
- La rotación de fase introducida por la estructura del target y sus características dieléctricas.

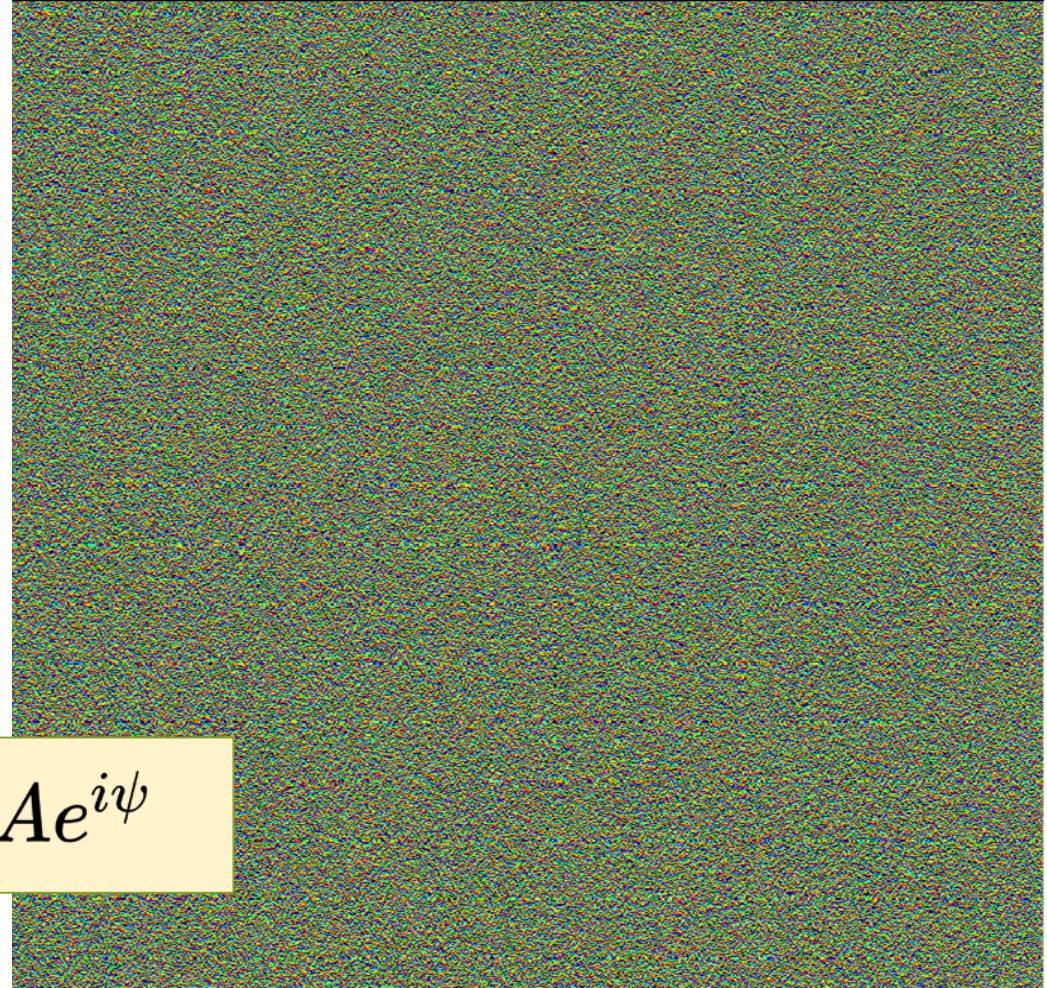
$$\psi = -\frac{4\pi d}{\lambda} + \psi_{target}$$

Amplitud vs Fase

Amplitud: energía retrodispersada hacia el satélite



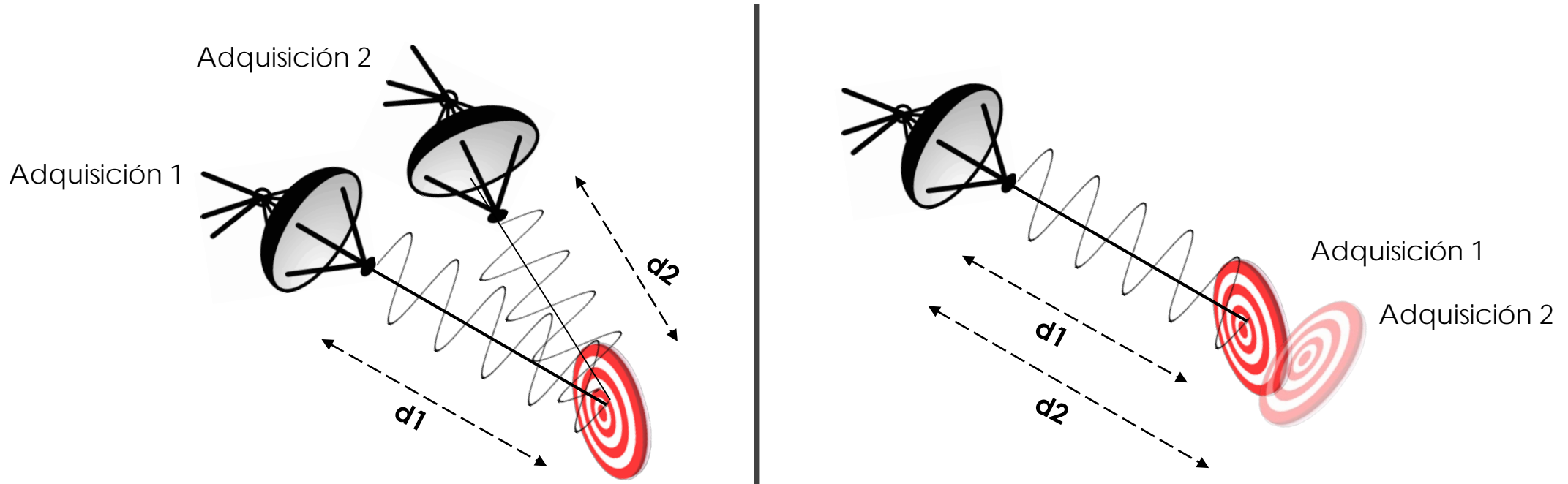
Fase: distancia entre target y satélite + fase de target



$$y = Ae^{i\psi}$$

Fase Interferométrica (Repeat Pass)

Para hacer un interferograma se necesitan 2 imágenes SAR que iluminen el mismo blanco con el mismo modo (ángulos de observación similares).



$$\phi = \psi_1 - \psi_2 = -\frac{4\pi(d_1 - d_2)}{\lambda} + \psi_{target} - \psi_{target} = -\frac{4\pi(d_1 - d_2)}{\lambda}$$

Speckle (Moteado)

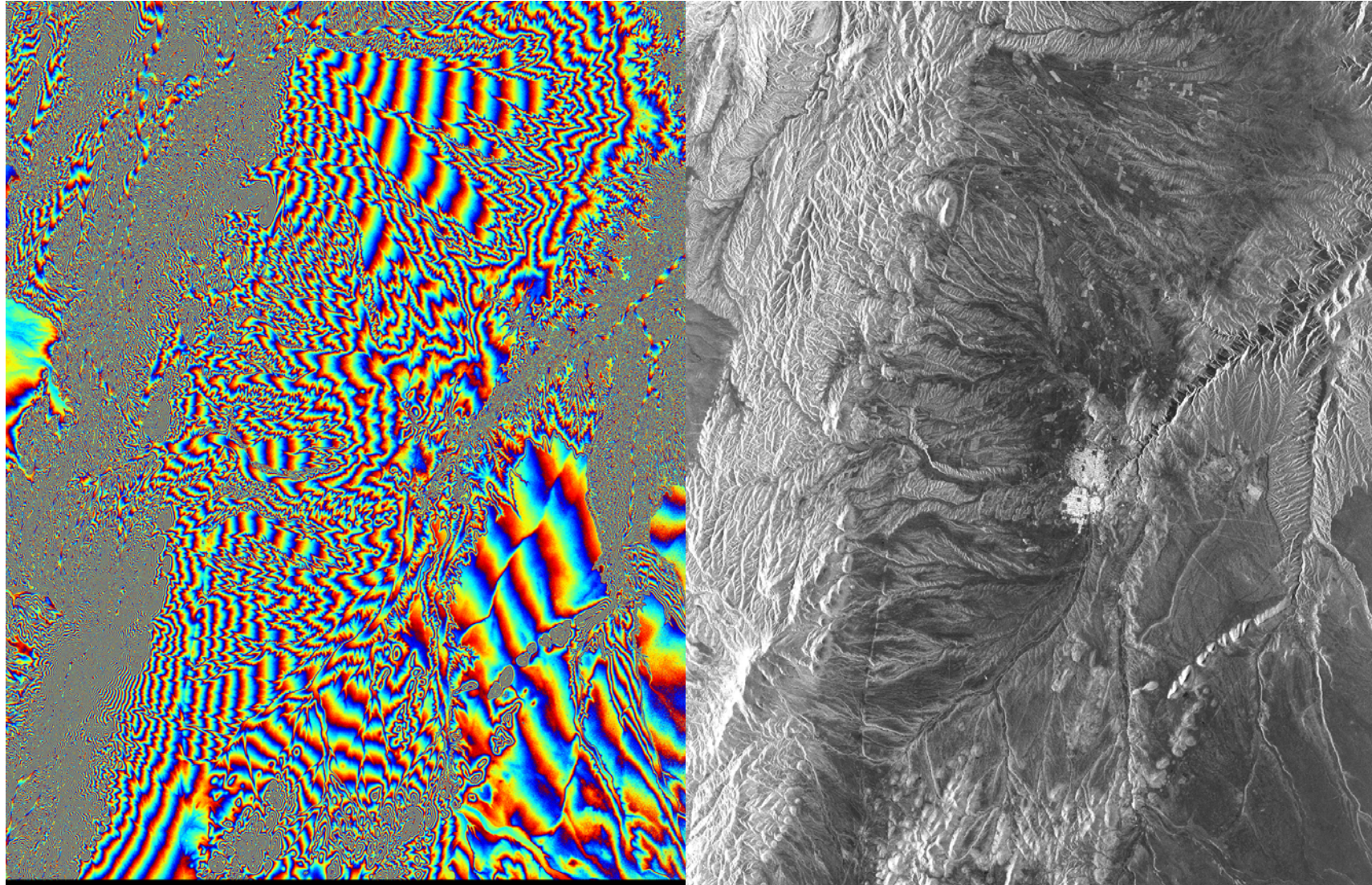
- Muchos sub-scatterers contribuyen a la respuesta en una celda de resolución. El SAR mide la suma coherente de todos estos sub-targets para una celda de resolución
- Para el SAOCOM un pixel es de ~ 5m x 10 m
- Si los sub-scatterers cambian entre las dos adquisiciones, el término correspondiente al *target* en la fase interferométrica no se cancela (coherencia)



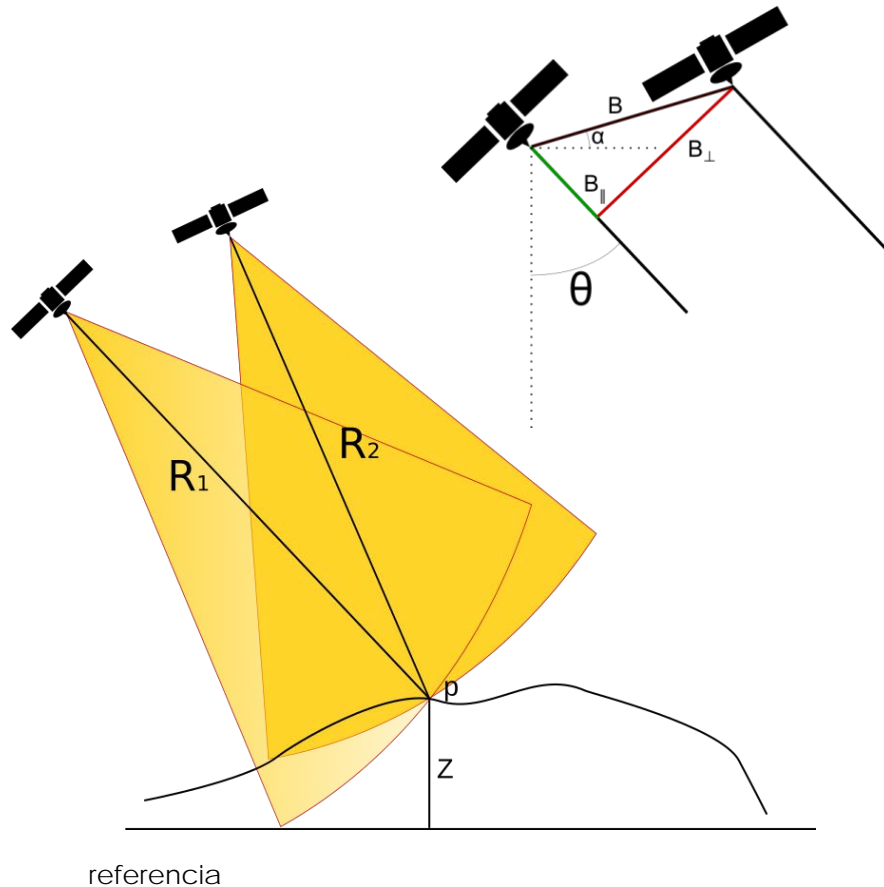
Estudiando la Fase

Caso de Estudio 1 - Fase Interferométrica Sensibilidad a la Topografía (InSAR)

Sensibilidad a la Topografía



Sensibilidad a la Topografía

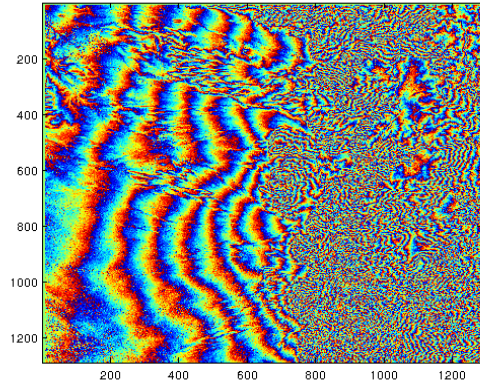


Al observar el mismo target desde dos posiciones diferentes podemos vincular la fase interferométrica a la altura z del target iluminado (asumiendo que la fase de los targets es la misma en ambas adquisiciones).

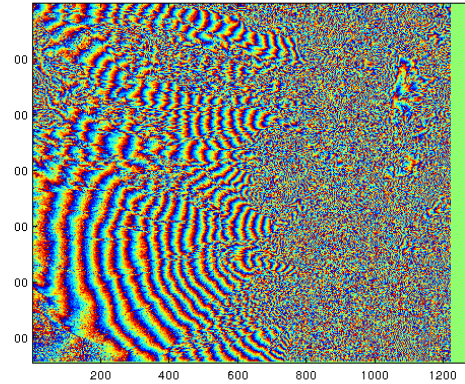
$$\phi = -\frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta} z + \phi_{reference}$$

Sensibilidad a la Topografía

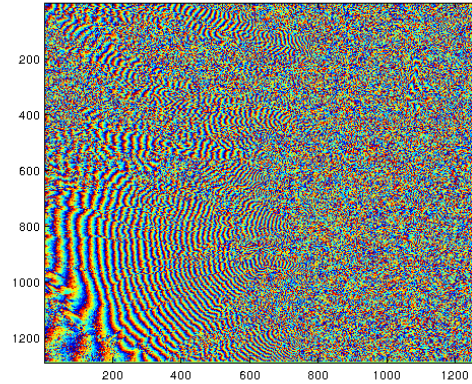
$$\frac{d\phi}{dz} = - \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta}$$



$$B_{\perp} = 80m$$
$$z_{2\pi} = 63.5m$$



$$B_{\perp} = 156m$$
$$z_{2\pi} = 32.5m$$



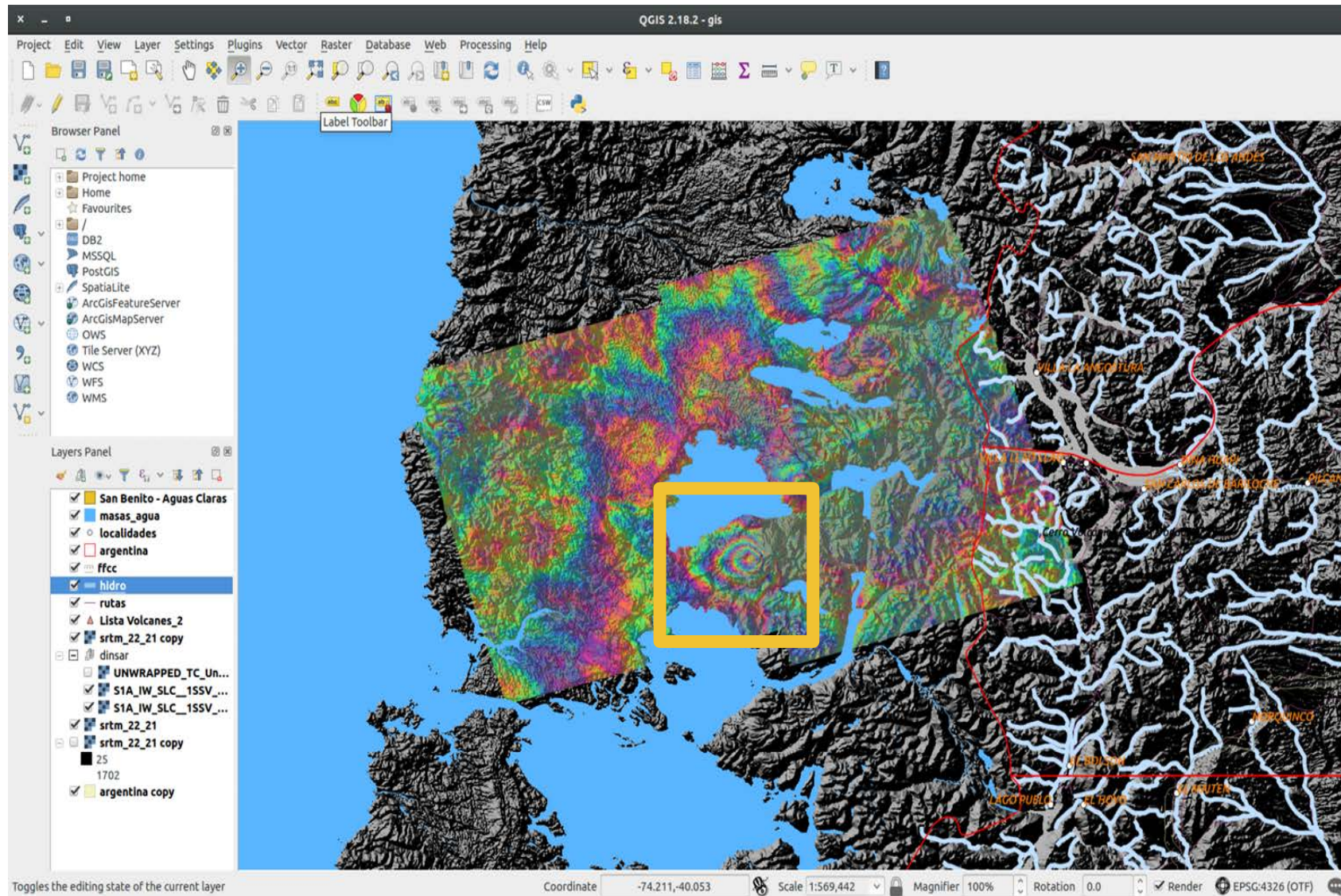
$$B_{\perp} = 364m$$
$$z_{2\pi} = 13.9m$$

Cuanto mayor es el baseline perpendicular, más franjas tengo para un mismo salto de altura

Estudiando la Fase

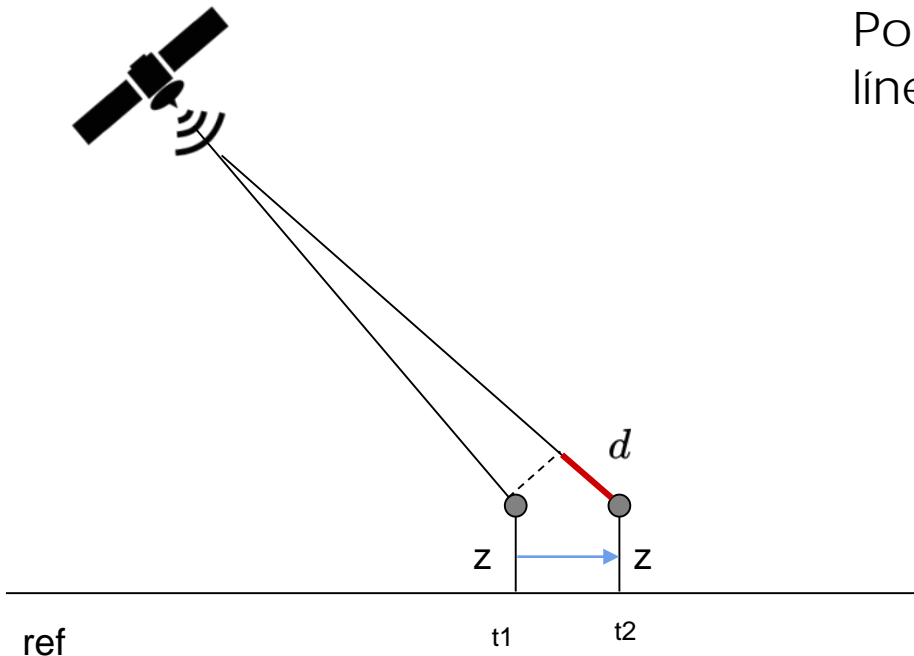
Caso de Estudio 2 - Fase Interferométrica Sensibilidad al Desplazamiento (DInSAR)

Sensibilidad al Desplazamiento



Sensibilidad al Desplazamiento

Supongamos que observamos un target en **dos tiempos diferentes** t_1 y t_2 desde **exactamente la misma posición**. Y supongamos que este target sufre un desplazamiento horizontal como indica la figura



Podemos medir el desplazamiento d (en la dirección de línea de vista del radar) utilizando la fase interferométrica.

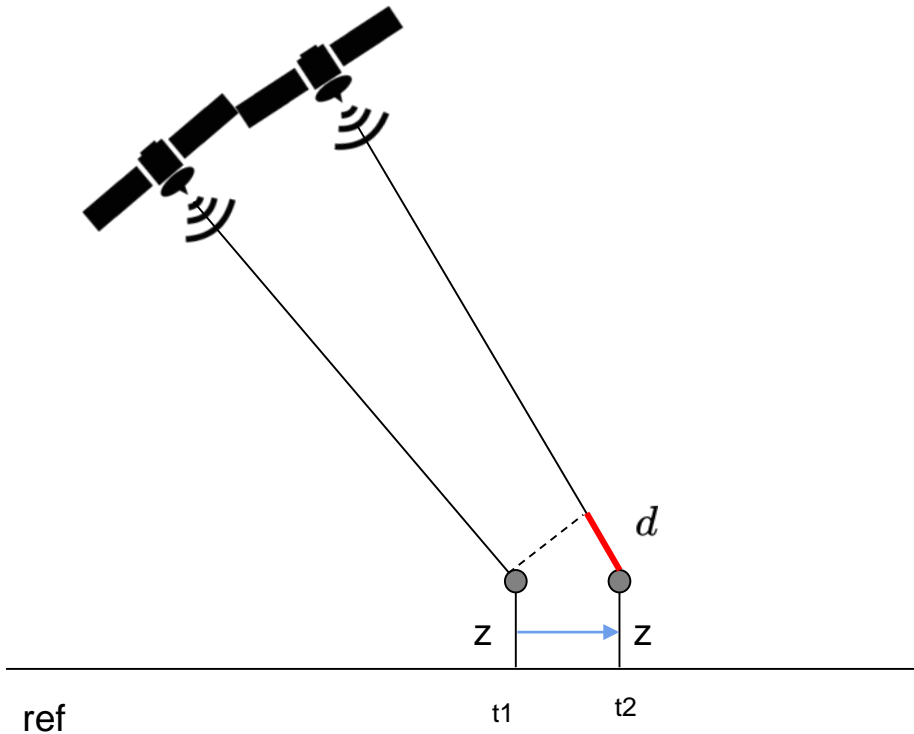
$$\phi = -\frac{4\pi}{\lambda}d + \phi_{ref}$$

¿Por qué no pusimos el término de fase correspondiente a la topografía?

Observamos el target desde **exactamente la misma posición**. La sensibilidad a la topografía es nula (el baseline perpendicular es cero)

Sensibilidad al Desplazamiento

En la práctica es imposible medir el target desde la misma posición en dos tiempos diferentes



$$\phi = -\frac{4\pi}{\lambda}d - \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta}z + \phi_{ref}$$

Para poder medir el desplazamiento d debemos restar la contribución de fase debido a la topografía (necesitamos un DEM) y la contribución de fase de referencia (por ejemplo elipsoide WGS84)

Nota: el desplazamiento que podemos medir con DInSAR es en la dirección de vista del radar. Si quisiéramos descomponer el desplazamiento en horizontal y vertical necesitamos dos interferogramas diferenciales con geometrías diferentes (por ejemplo uno ascendente y otro descendente)

Resumiendo

$$\phi = -\frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta} z - \frac{4\pi}{\lambda} d$$

InSAR	DInSAR
Mapa de elevaciones (DEM)	Mapa de desplazamientos
Preferentemente adquisiciones simultaneas	Adquisiciones que encierren el evento a estudiar
Precisión de ~m	Precisión de ~mm
Bperp debe ser grande*	Bperp debe ser chico
Sensibilidad: $k_z = -\frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta}$	Sensibilidad: $k_d = \frac{4\pi}{\lambda}$ $k_v = -\frac{4\pi}{\lambda} \Delta t$

Con interferometría diferencial podemos medir desplazamientos del orden de los milímetros dado que la sensibilidad a la deformación es mucho mayor que a la topografía

*Hay un baseline perpendicular crítico a partir del cual se pierde **coherencia**.

Factores que Afectan a la Fase Interferométrica

- Errores orbitales
- Atmósfera
- Ruido

$$\phi_{ifg} = k_z z + k_v v + \phi_{orb} + \alpha + \eta$$

Errores orbitales

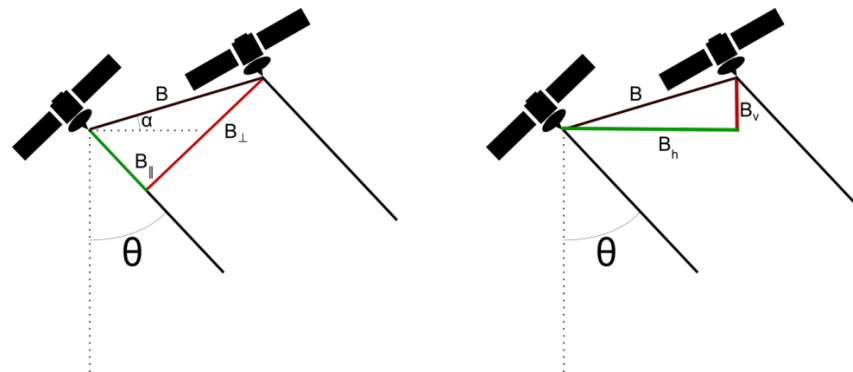
$$\phi_{ifg} = k_z z + k_v v + \boxed{\phi_{orb}} + \alpha + \eta$$

Errores Orbitales

Descomposición de B_{\perp} y B_{par}

$$B_{\parallel} = B_h \sin(\theta) - B_v \cos(\theta)$$

$$B_{\perp} = B_h \cos(\theta) + B_v \sin(\theta)$$



Fase interferométrica: $\phi = \frac{4\pi}{\lambda} B_{\parallel}$

Si tomamos la derivada en azimut y rango: $\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\partial B_{\parallel}(\theta, t)}{\partial t} \Delta t + \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\partial B_{\parallel}(\theta, t)}{\partial \theta} \Delta\theta = \frac{4\pi}{\lambda} \dot{B}_{\parallel} \Delta t + \frac{4\pi}{\lambda} B_{\perp} \Delta\theta$

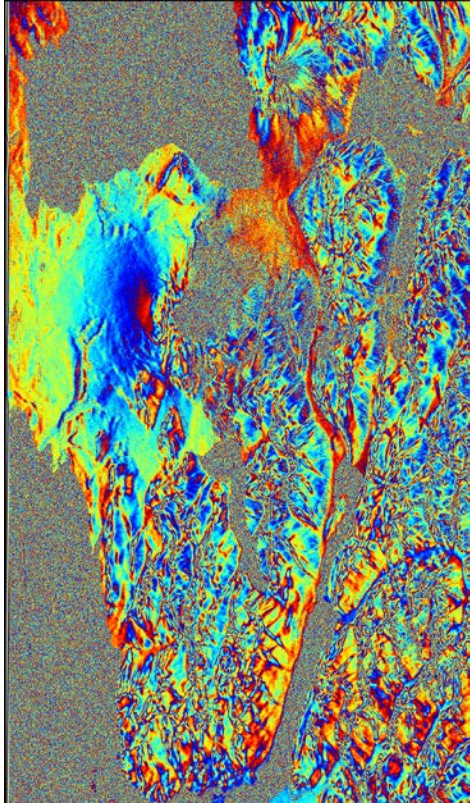
- Error en B_{par} genera un offset o compensación de fase (no es un problema)
- Error en B_{\perp} genera rampa de fase en rango
- Error en variación de B_{par} en el tiempo genera rampa de fase en azimut (por ejemplo, órbitas no paralelas)

$$\sigma\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \sigma B_{\parallel}$$

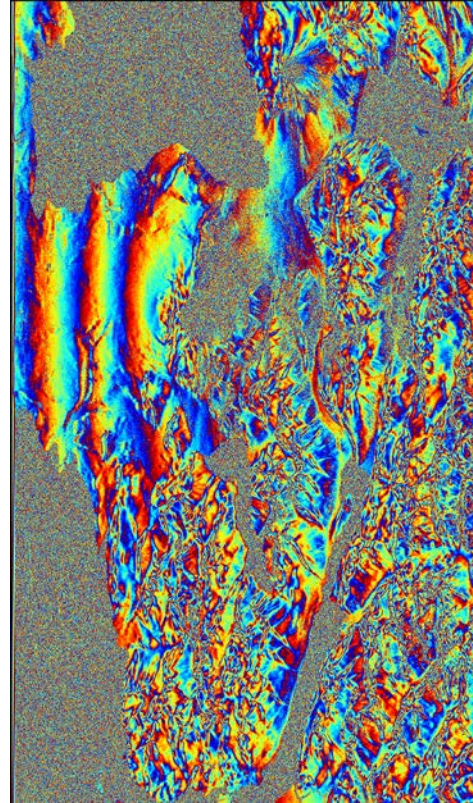
$$\sigma_{\Delta\phi} = \left(\frac{4\pi}{\lambda} \Delta\theta\right) \sigma B_{\perp}$$

$$\sigma_{\Delta\phi} = \left(\frac{4\pi}{\lambda} \Delta t\right) \sigma \dot{B}_{\parallel}$$

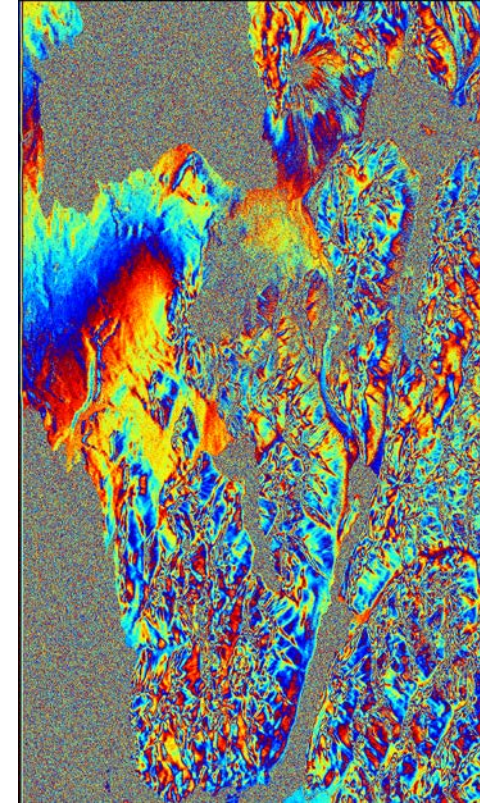
Errores Orbitales



Interferograma original

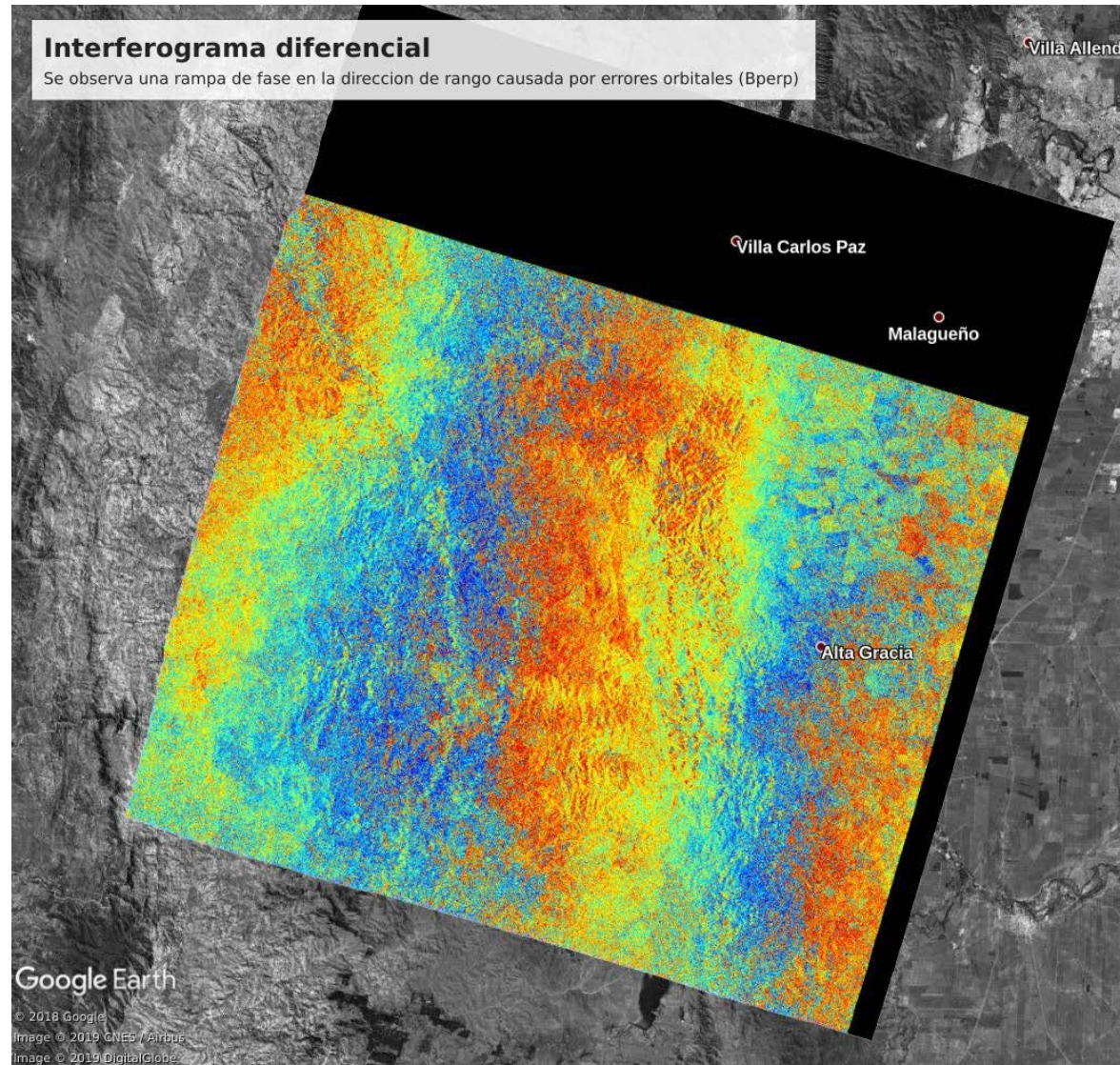


Interferograma con error en $B_{perp} = 10\text{m}$



Interferograma con error en $B_{par_rate} = 0.0325\text{m/s}$

Errores Orbitales



Atmósfera

$$\phi_{ifg} = k_z z + k_v v + \phi_{orb} + \boxed{\alpha} + \eta$$

Atmósfera

Adquisiciones no simultáneas \Rightarrow puede haber diferentes condiciones atmosféricas que afectan el camino recorrido por la onda (la fase)

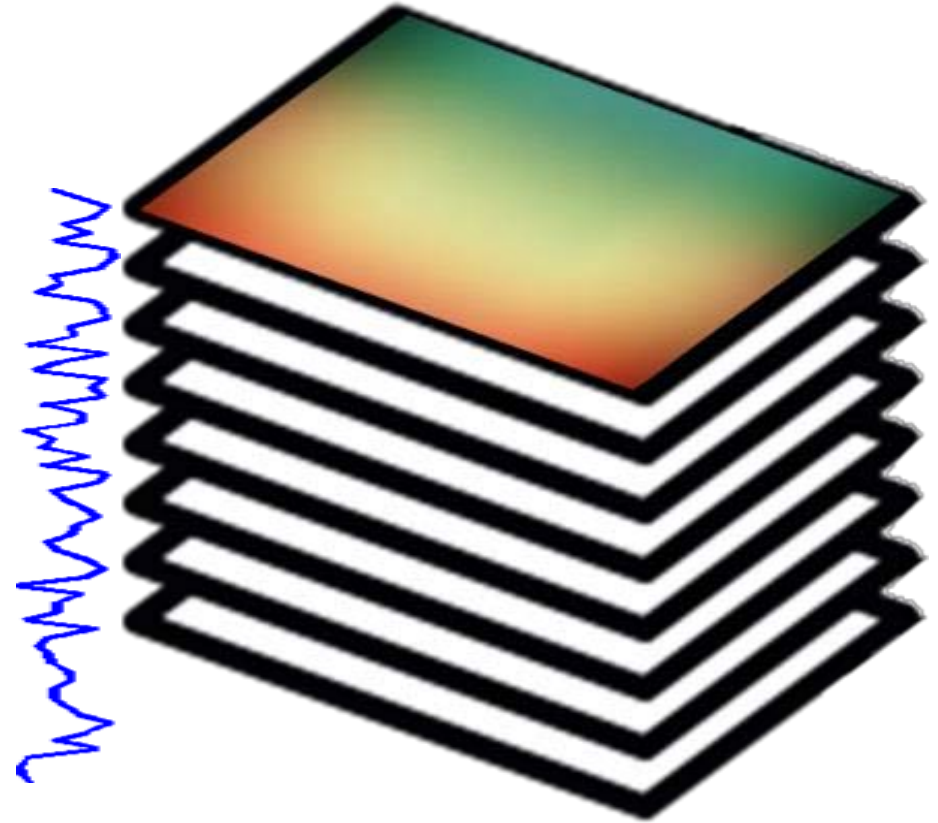
- Humedad
- Temperatura
- Presión

Atmospheric Phase Screen (APS)

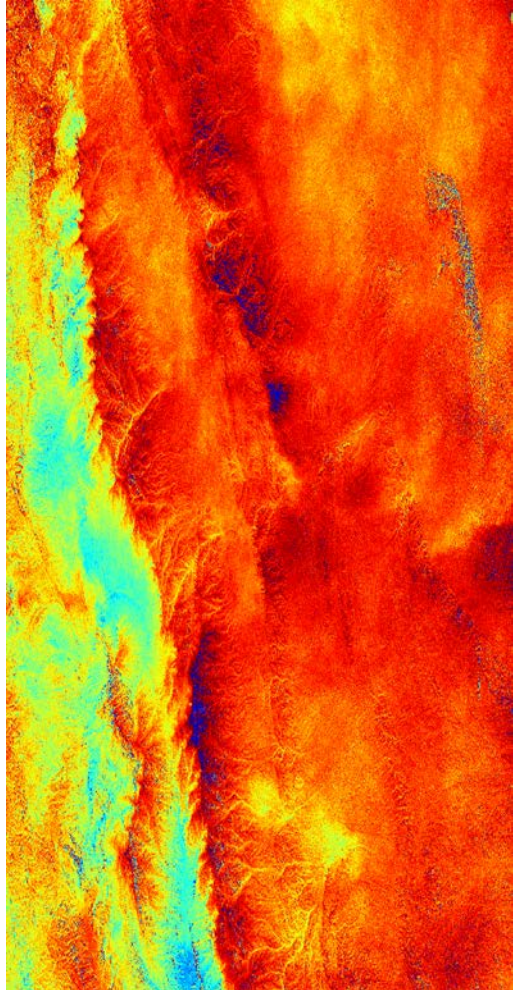
- Cambios suaves en el espacio
- Cambios abruptos en el tiempo

Impacta:

- Medición de altura (sobre todo Bperp chico)
- Medición de deformación



Ejemplo Estratificación Troposférica



Ejemplo de efectos atmosféricos en la fase interferométrica por estratificación troposférica

Interferograma diferencial generado usando datos SAOCOM en San Juan (cerca del Leoncito)

Típico efecto de estratificación troposférica, como se puede apreciar hay una correlación de la fase con la topografía

Cuando generamos el interferograma suponemos que la onda viaja en el vacío a velocidad c . Pero al ingresar a la atmósfera se encuentra con un medio dieléctrico estratificado que hace que su velocidad disminuya. La fase interferométrica generada por los cambios de velocidad de propagación debe ser contrarrestada para que no se mezcle con los términos de deformación y topografía.

Ruido

$$\phi_{ifg} = k_z z + k_v v + \phi_{orb} + \alpha + \eta$$

Coherencia

Si el blanco iluminado cambia entre las dos adquisiciones que forman el par interferométrico, las imágenes pierden coherencia y la fase interferométrica se degrada. El término de fase correspondiente al target no se cancela.

$$\phi = \psi_1 - \psi_2 = -\frac{4\pi(d_1-d_2)}{\lambda} + \psi_{target1} - \psi_{target2} = -\frac{4\pi(d_1-d_2)}{\lambda} + \eta$$

Es posible cuantificar el cambio que hubo en el target entre las dos adquisiciones calculando la **coherencia interferométrica**.

$$\gamma = \frac{\mathbb{E}\{y_1 y_2^*\}}{\sqrt{\mathbb{E}\{|y_1|^2\} \mathbb{E}\{|y_2|^2\}}} \longrightarrow \hat{\gamma} = \frac{\sum_{n=1}^N y_1 y_2^*}{\sqrt{\sum_{n=1}^N |y_1|^2 \sum_{n=1}^N |y_2|^2}}$$

Valores del módulo cercanos a 0 indican baja correlación;
Valores del módulo cercanos a 1 indican alta correlación.

Fuentes de Decorrelación

- **Geométrica:** causada por la diferencia en los ángulos de incidencia entre adquisiciones (Bperp crítico)
- **Doppler:** causada por la diferencia en los centroides Doppler entre adquisiciones
- **Térmica:** inherente al sistema (por ejemplo antenas)
- **Volumétrica:** causada por la penetración de la onda en un medio dispersivo (banda dependiente)
- **Temporal:** causada por cambios físicos en el terreno que afectan las características de dispersión (banda dependiente)
- **Procesamiento:** corrección, interpolación, etc...

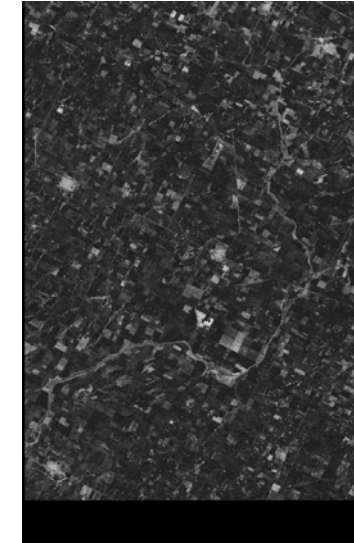
$$\gamma = \gamma_{geom} \gamma_{dc} \gamma_{vol} \gamma_{thermal} \gamma_{temporal} \gamma_{processing}$$

Coherencia Banda X vs Banda L

ALOS2 (Banda L)

Btemp: 14, 28, 98 días

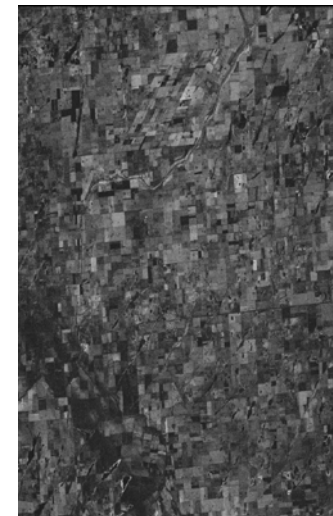
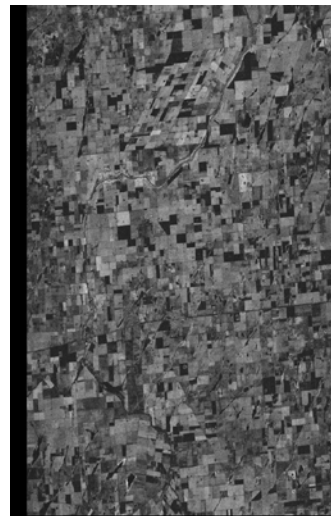
Bperp: 400, 30, 50 m



COSMO (Banda X)

Btemp: 8, 12, 20 días

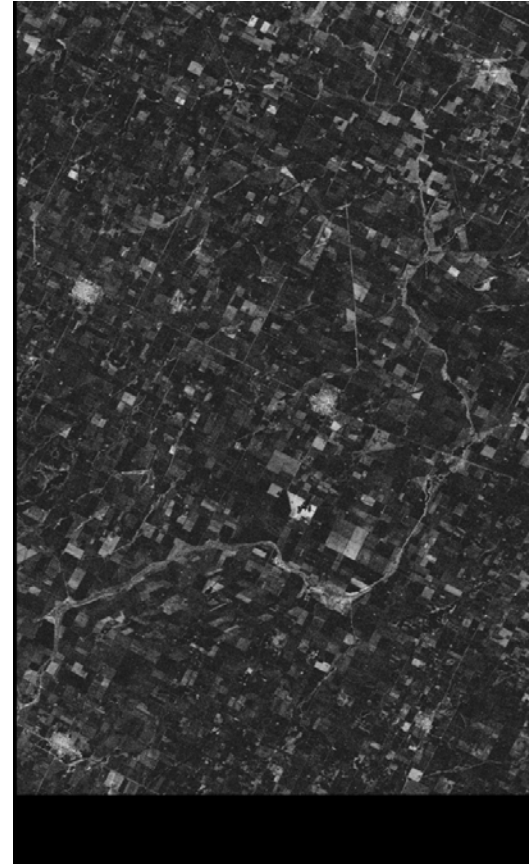
Bperp: 1500, 1170, 420 m



Coherencia Banda X vs Banda L



Btemp 14 dias
Bperp 400m
Banda L (ALOS2)

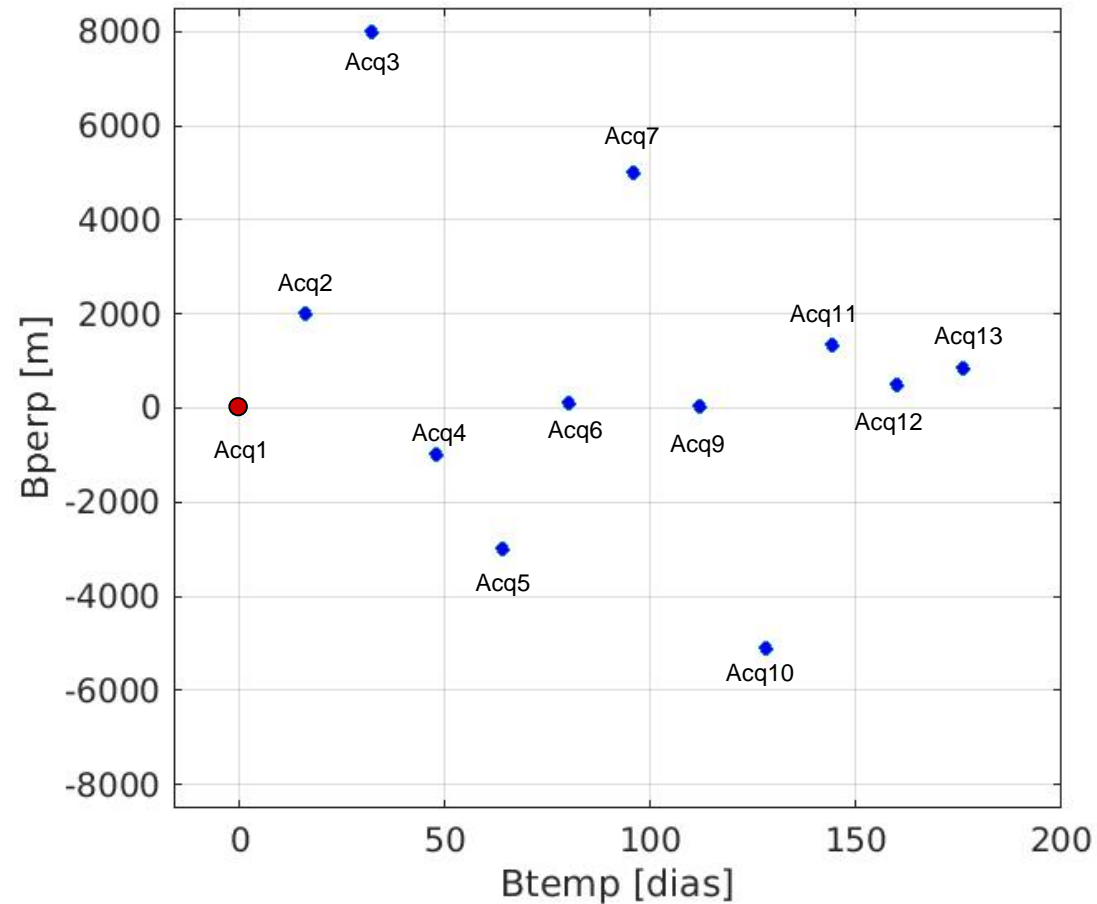


Btemp 20 dias
Bperp 420m
Banda X (COSMO)

Ejercicio

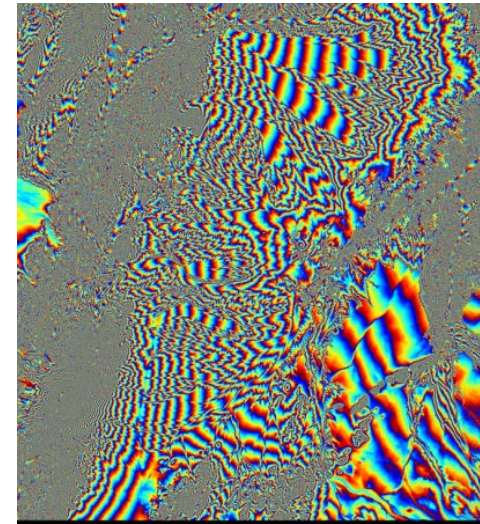
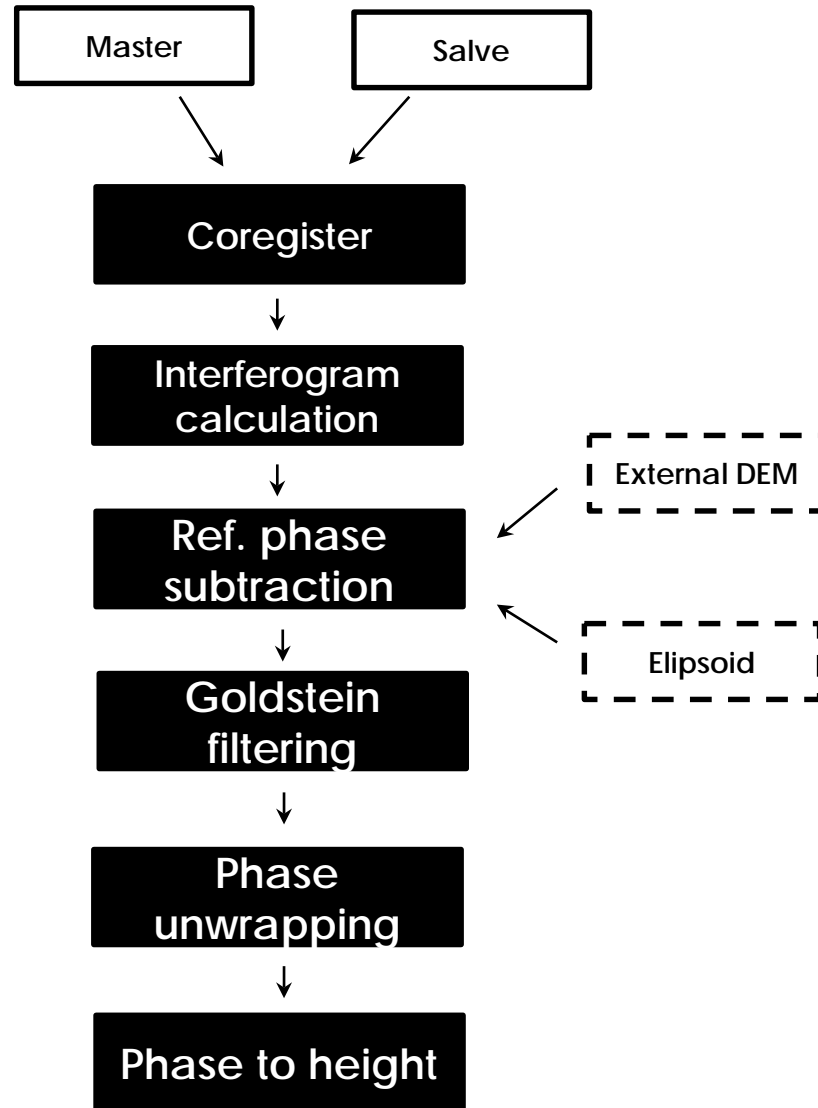
Supongamos que tenemos el siguiente plano que grafica el baseline perpendicular en función del baseline temporal para 13 adquisiciones sobre la misma región.

¿Cuáles son los 3 pares que seleccionaría para hacer un DEM? (nota suponer que el Bperp crítico es ~5Km)



Workflow Básico para Generación de DEM

Workflow Básico para Generación de DEM



Bibliografía y Software



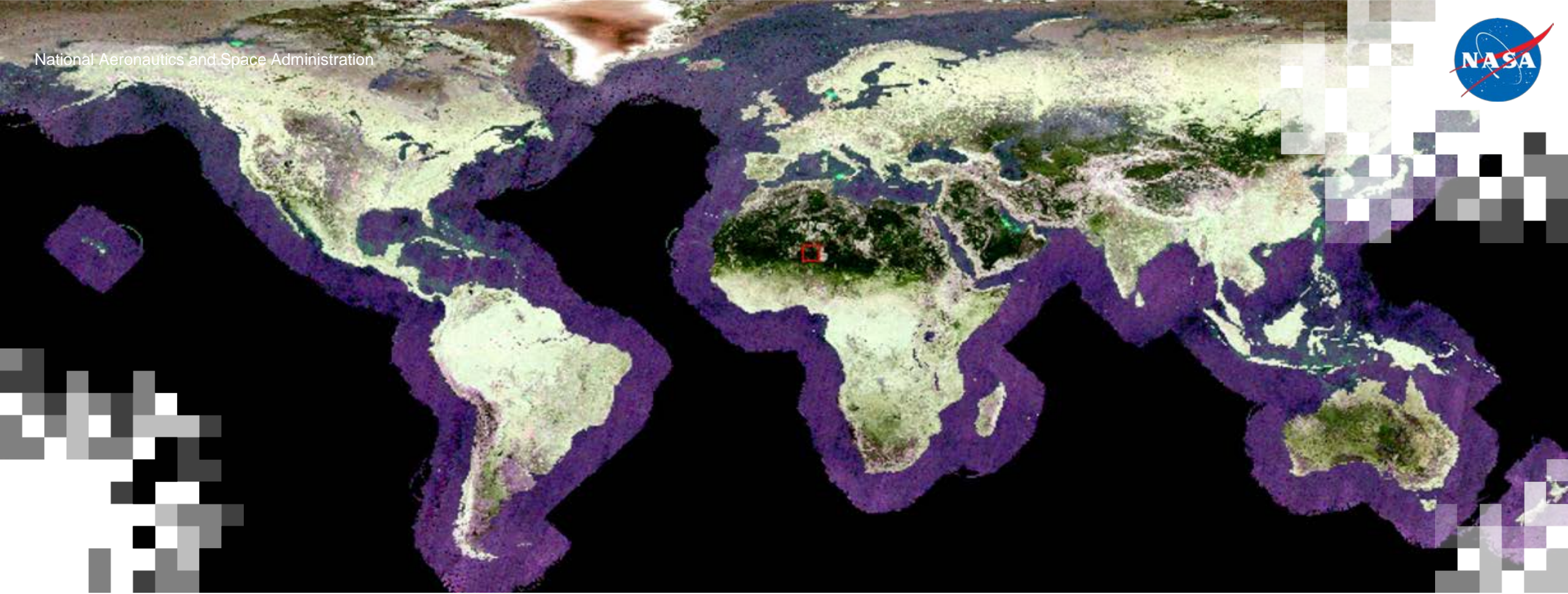
Bibliografía

- *Radar Interferometry, Data Interpretation and Error Analysis.* Ramon F. Hanssen.
- *InSAR Principles, Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation.* ESA.

Software

- SNAP 7.0 <http://step.esa.int/main/download/snap-download/>
- Sentinel 1 Toolbox: <https://github.com/senbox-org/s1tbx>
- Doris: <https://github.com/TUDELFTGeodesy/Doris>
- Snaphu: <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/snaphu/>





Workflow básico para generación de DEM

Nicolás A. Grunfeld Brook - <ngrunfeld@conae.gov.ar>

CONAE

Requisitos

- Tener una computadora con al menos 8GB de RAM
- Software:
 - SNAP 7.0 con Sentinel Toolboxes <http://step.esa.int/main/new-release-of-snap-7-0-public-beta-is-available/>
 - Snaphu v2.0.1
<https://web.stanford.edu/group/radar/softwareandlinks/sw/snaphu/>

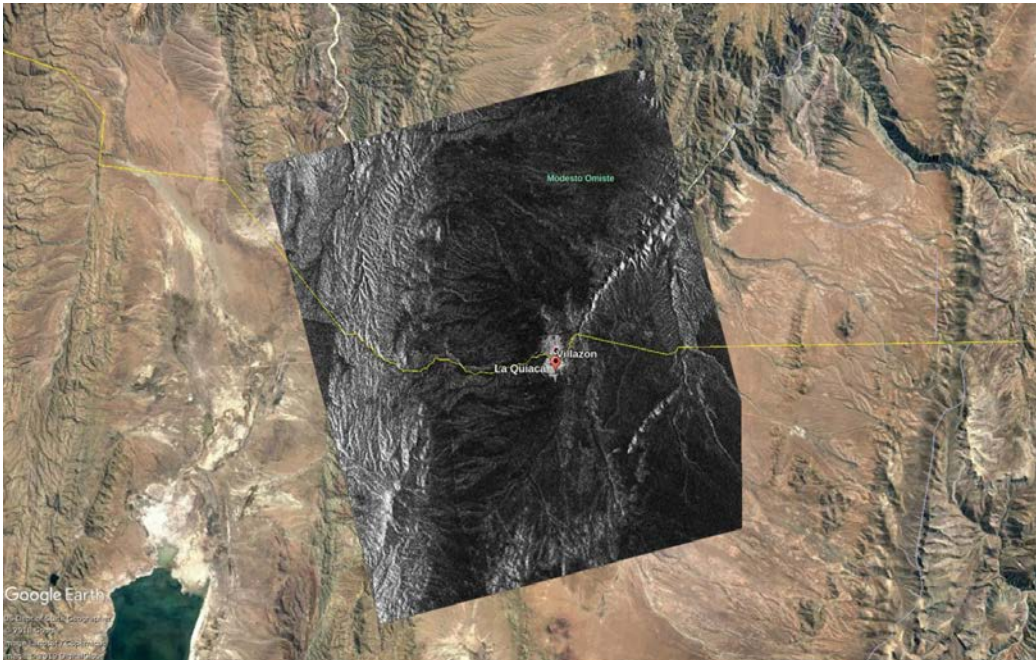
Jujuy - La Quiaca

Clima semiárido

Los veranos concentran ~80% de las precipitaciones

Los inviernos son muy secos y fríos, apenas llueve

<https://www.weather-arg.com/en/argentina/la-quiaca-climate>



¿En qué época del año harían adquisiciones para la generación de un DEM?

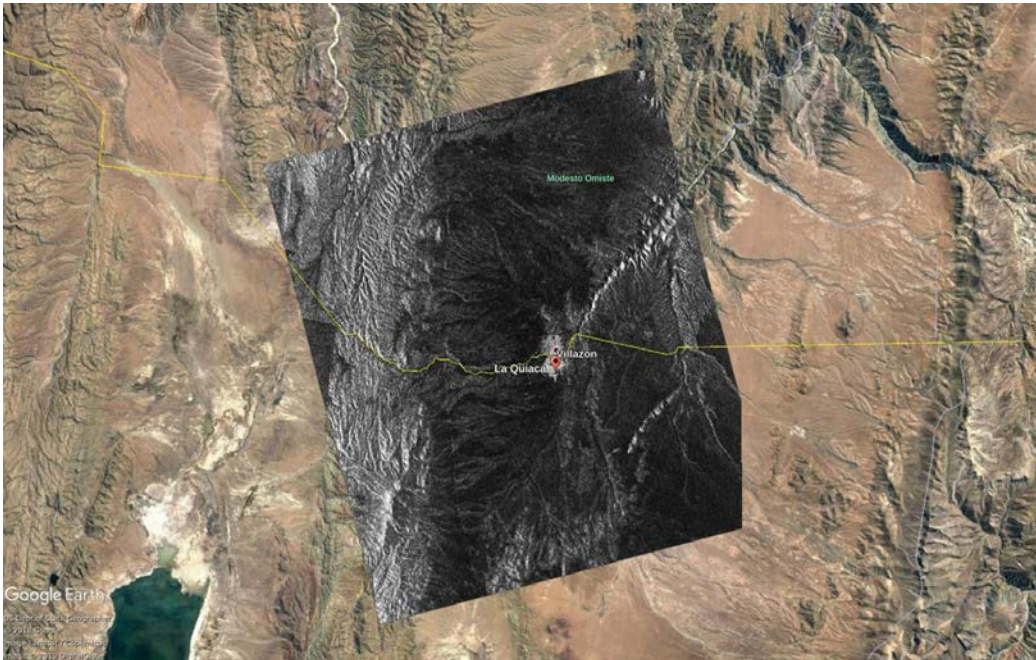
Jujuy - La Quiaca

Clima semiárido

Los veranos concentran ~80% de las precipitaciones

Los inviernos son muy secos y fríos, apenas llueve

<https://www.weather-arg.com/en/argentina/la-quiaca-climate>



¿En qué época del año harían adquisiciones para la generación de un DEM?

Probablemente en invierno los interferogramas se vean menos afectados por las condiciones atmosféricas.

Dataset

Disponemos de un par tándem STRIPMAP Cosmo-Skymed*, Banda X (3cm)

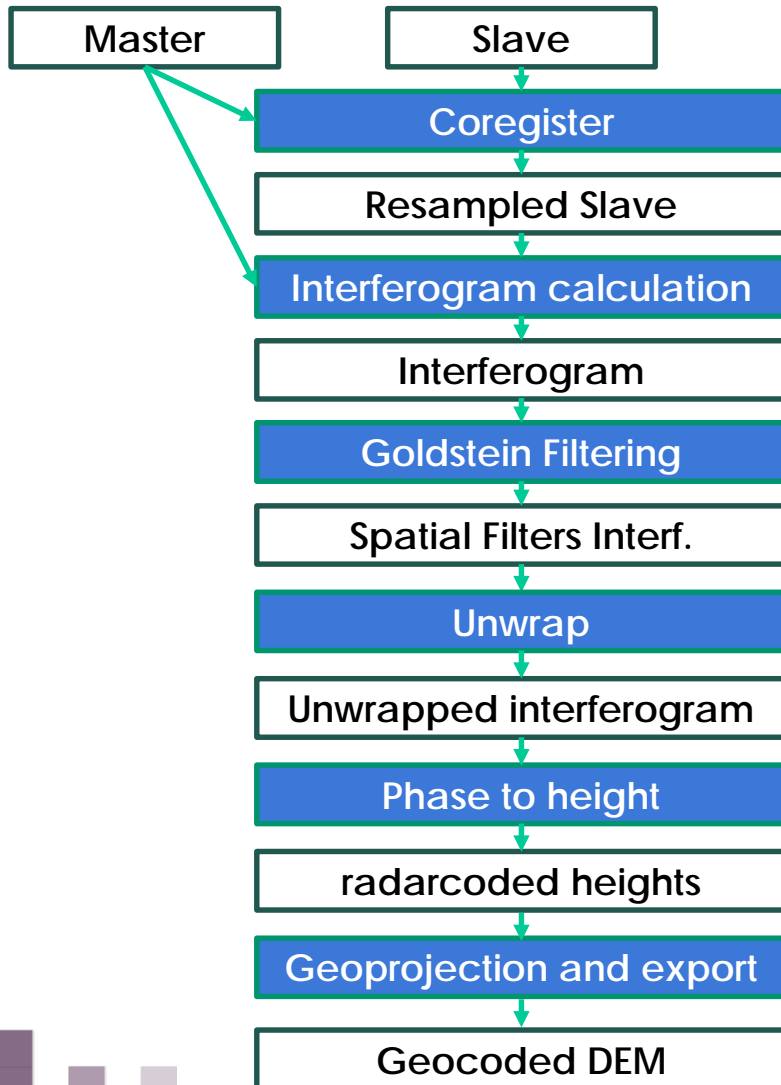
- Master: 2017-05-14
- Slave: 2017-05-15

Parámetros:

- Baseline temporal: 1 día
- Baseline perpendicular: 500 m
- Altura de ambigüedad: 22 m
- Delta centroides Doppler: 22 Hz
- Ancho de banda en rango: 73.5 MHz
- Ancho de banda en azimut: 2590 Hz
- Ángulo de incidencia: 40 °
- Alcance oblicuo (Slant range): 884 Km

*Las imágenes utilizadas fueron obtenidas por el satélite COSMO SkyMed y la CONAE dispone de ellas por el Memorando de Entendimiento de 2005 firmado entre la ASI y la CONAE en el marco de la cooperación del SIASGE (Sistema Ítalo Argentino de Satélites para Gestión de Emergencias). Dichas imágenes son para uso académico y para el único fin de realizar los ejercicios del curso.

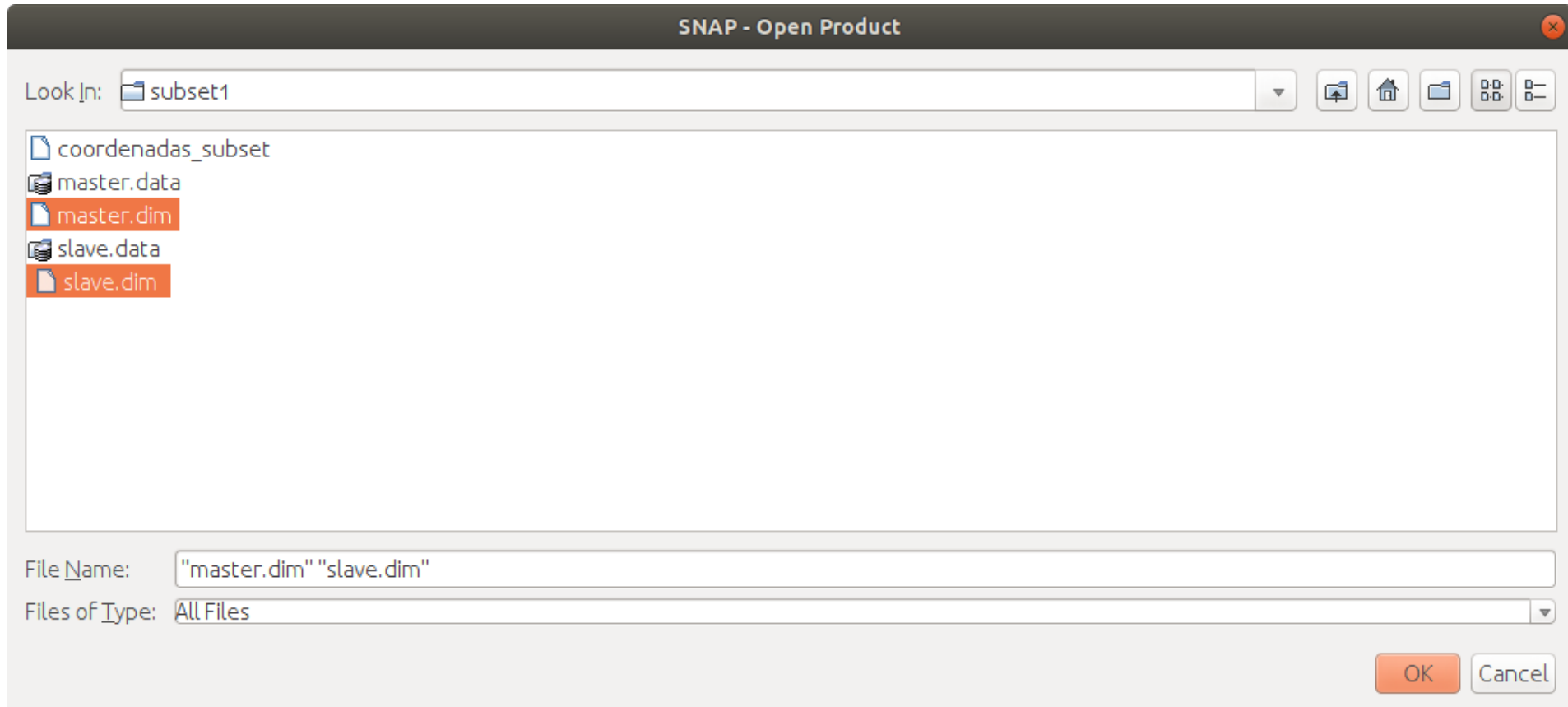
Workflow Básico



1. Master y Slave
2. Corregistro (subpixel) y remuestreo (o resampleo) Slave a Master
3. Generación de interferograma haciendo la resta de fase pixel a pixel. Se sustrae la fase de referencia tierra plana y obtengo interferograma con la fase topográfica
4. Reducción de ruido usando filtro de Goldstein
5. Desenrollamos la fase
6. Se convierte la fase topográfica a altura respecto a la referencia (alturas en slant range)
7. Proyección de las alturas a lat-lon
8. Se obtiene un DEM que se puede abrir en un GIS

Paso 1 - Lectura de Imágenes

- Abrimos las imágenes con SNAP, *File > Open Product* y buscamos master.dim y slave.dim



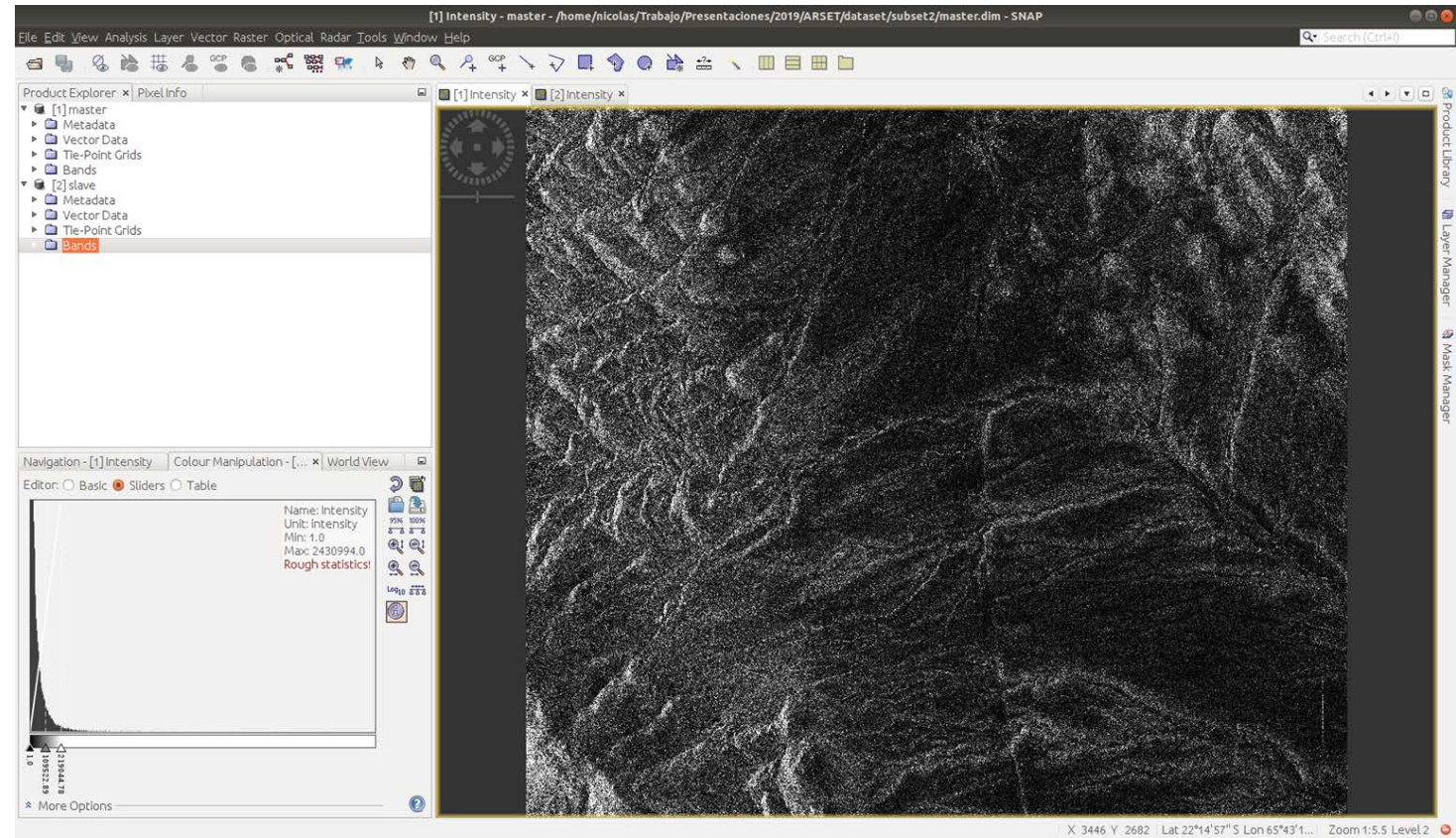
Paso 1 - Lectura de Imágenes

Abrimos las imágenes con SNAP, *File > Open Product* y buscamos master.dim y slave.dim



Las imágenes están formadas por las bandas **I** (parte real) y **Q** (parte imaginaria)

Podemos visualizar la intensidad de ambas imágenes abriendo la banda **Intensity**



Paso 1.1 - Información General del Par

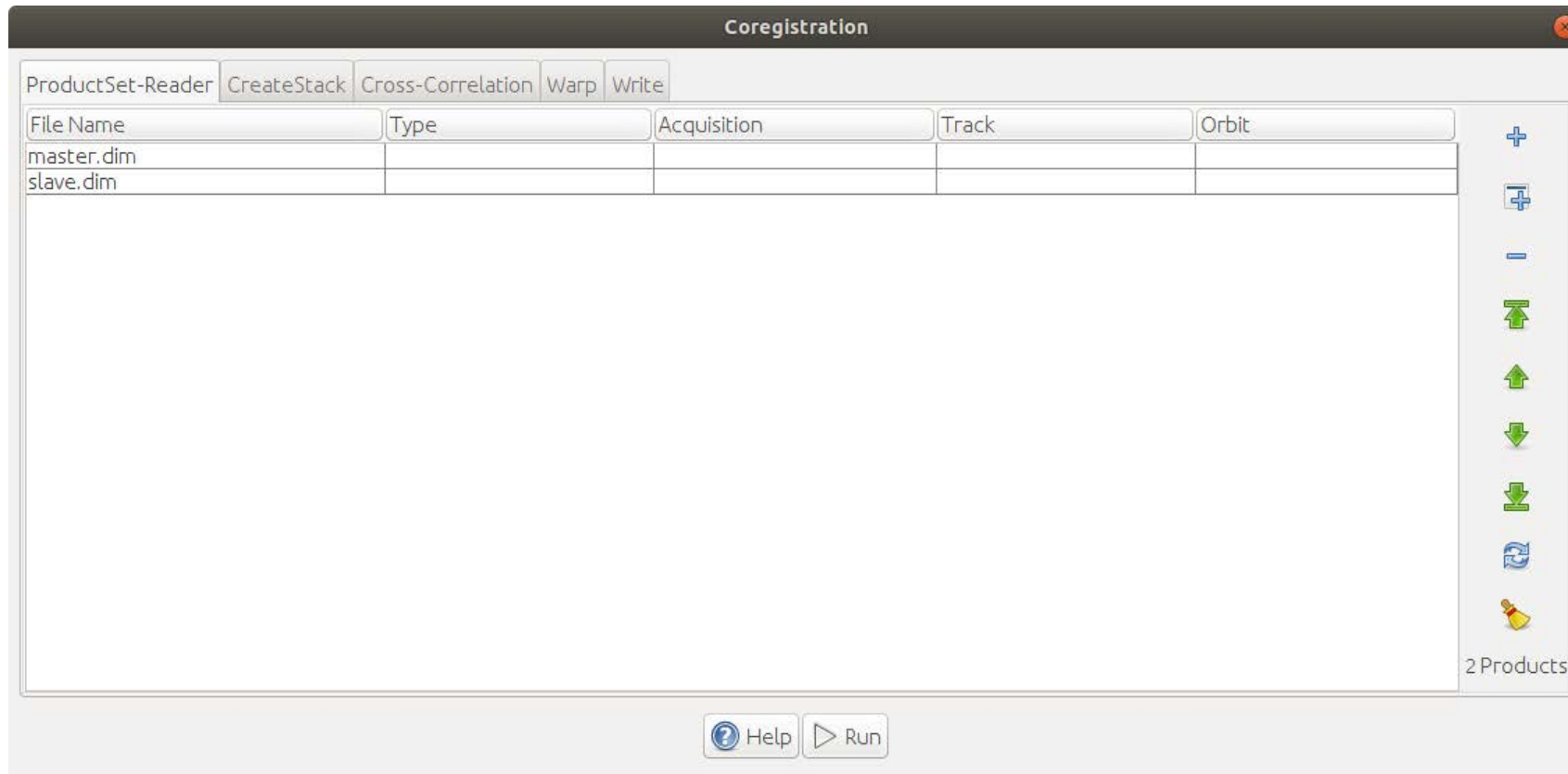
En *Radar > Interferometric > InSAR Stack Overview* podemos ver información general acerca del par interferométrico: fecha de adquisición, sensor, modo, baseline perpendicular, baseline temporal, coherencia modelada, altura de ambigüedad, etc...

File Name	Type	Acquisition	Track	Orbit
slave.dim				
master.dim				

File Name	Mst/Slv	Acquisition	Track	Orbit	Bperp [m]	Btemp [days]	Modeled Cohere...	Height Ambg [m]	Delta fDC [Hz]
master	Master	15May2017	99999	46279	0.00	0.00	1.00	∞	0.00
slave	Slave	14May2017	99999	51019	481.93	1.00	0.59	-21.36	-22.82

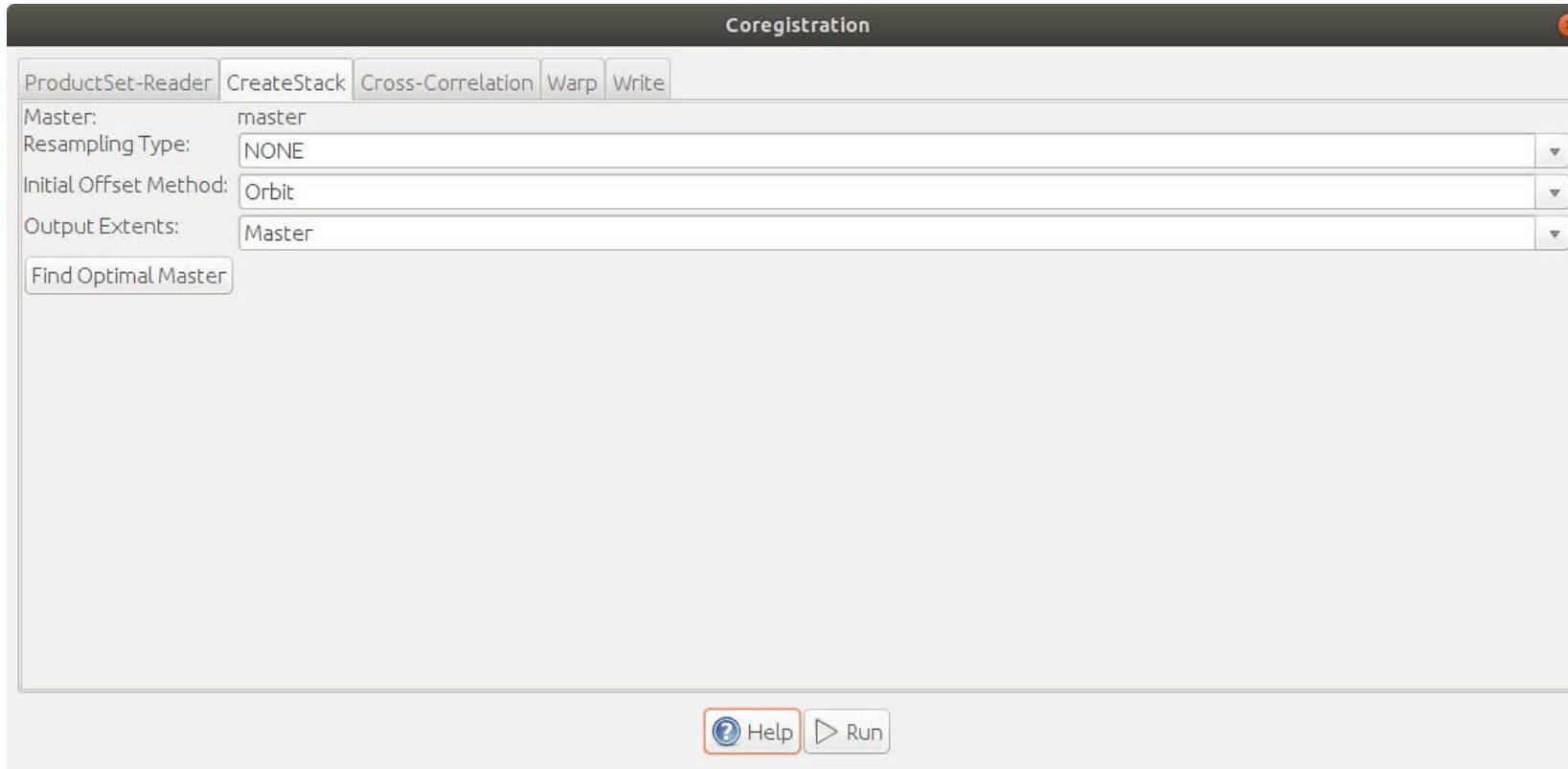
Paso 2 - Corregistro

- *Radar > Coregistration > Coregistration*
- Seleccionamos las imágenes haciendo clic en Add Opened



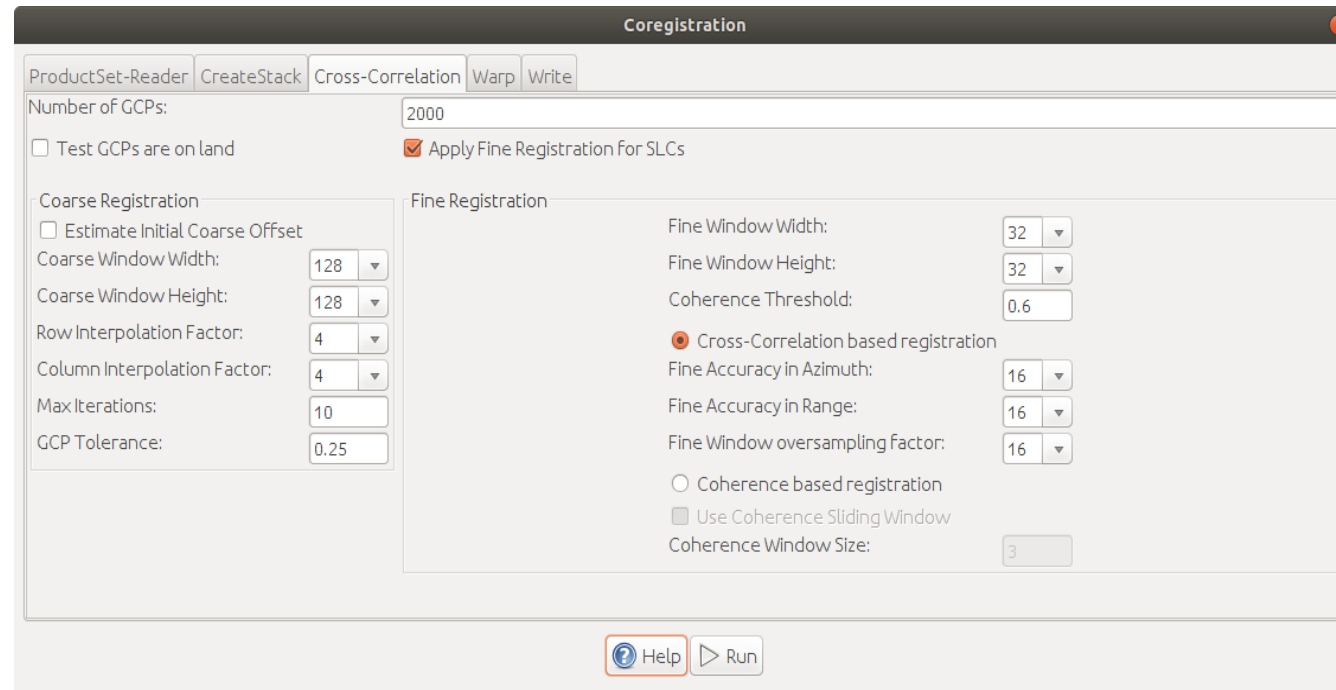
Paso 2 - Corregistro y Remuestreo

CreateStack: Se encarga de hacer un corregistro entre master y slave usando información orbital. Este corregistro orbital será luego usado como punto de partida para el corregistro grueso



Paso 2 - Corregistro y Remuestreo

- Cross-Correlation: se especifican los parámetros para hacer el corregistro grueso y fino
- Calcula para un set de GCP (Ground Control Points) uniformemente distribuidos en la imagen master, los correspondientes GCP en la imagen slave



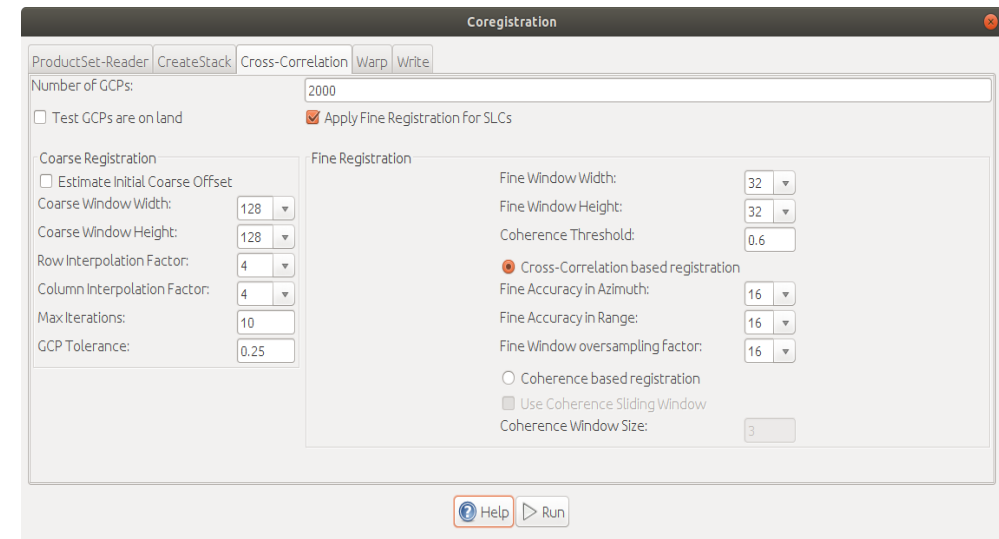
The screenshot displays the 'Coregistration' software window with the following settings:

- Number of GCPs: 2000
- Test GCPs are on land
- Apply Fine Registration for SLCs
- Coarse Registration**
 - Estimate Initial Coarse Offset
 - Coarse Window Width: 128
 - Coarse Window Height: 128
 - Row Interpolation Factor: 4
 - Column Interpolation Factor: 4
 - Max Iterations: 10
 - GCP Tolerance: 0.25
- Fine Registration**
 - Fine Window Width: 32
 - Fine Window Height: 32
 - Coherence Threshold: 0.6
 - Cross-Correlation based registration
 - Fine Accuracy in Azimuth: 16
 - Fine Accuracy in Range: 16
 - Fine Window oversampling factor: 16
 - Coherence based registration
 - Use Coherence Sliding Window
 - Coherence Window Size: 3

Buttons: Help, Run

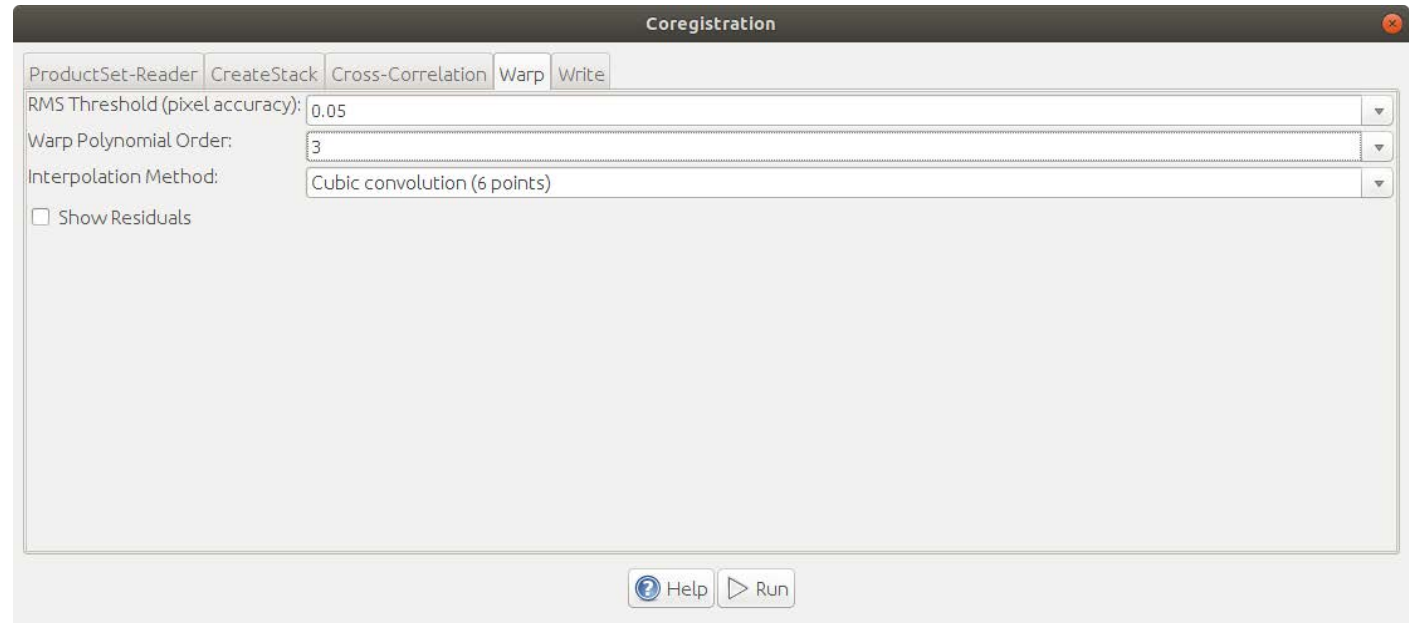
Paso 2 - Corregistro y Remuestreo

- Coarse Registration : para cada GCP en la imagen master y slave calcula la correlación en una ventana cuyo tamaño puede definirse con los parámetros Coarse Window Width/Height. El pico de correlación nos indica cuanto corrimiento tiene que hacer el GCP de slave para corresponderse con el GCP de master. Repite esto hasta alcanzar el máximo de iteraciones o el shift es menor que la tolerancia especificada
- Fine Registration:
 - Opción 1: busca la máxima correlación entre imágenes haciendo un sobremuestreo (oversampling) para ganar precisión sub-pixel
 - Opción 2: Maximiza la coherencia entre las imágenes haciendo desplazamientos de sub-pixeles en cada uno de los GCP



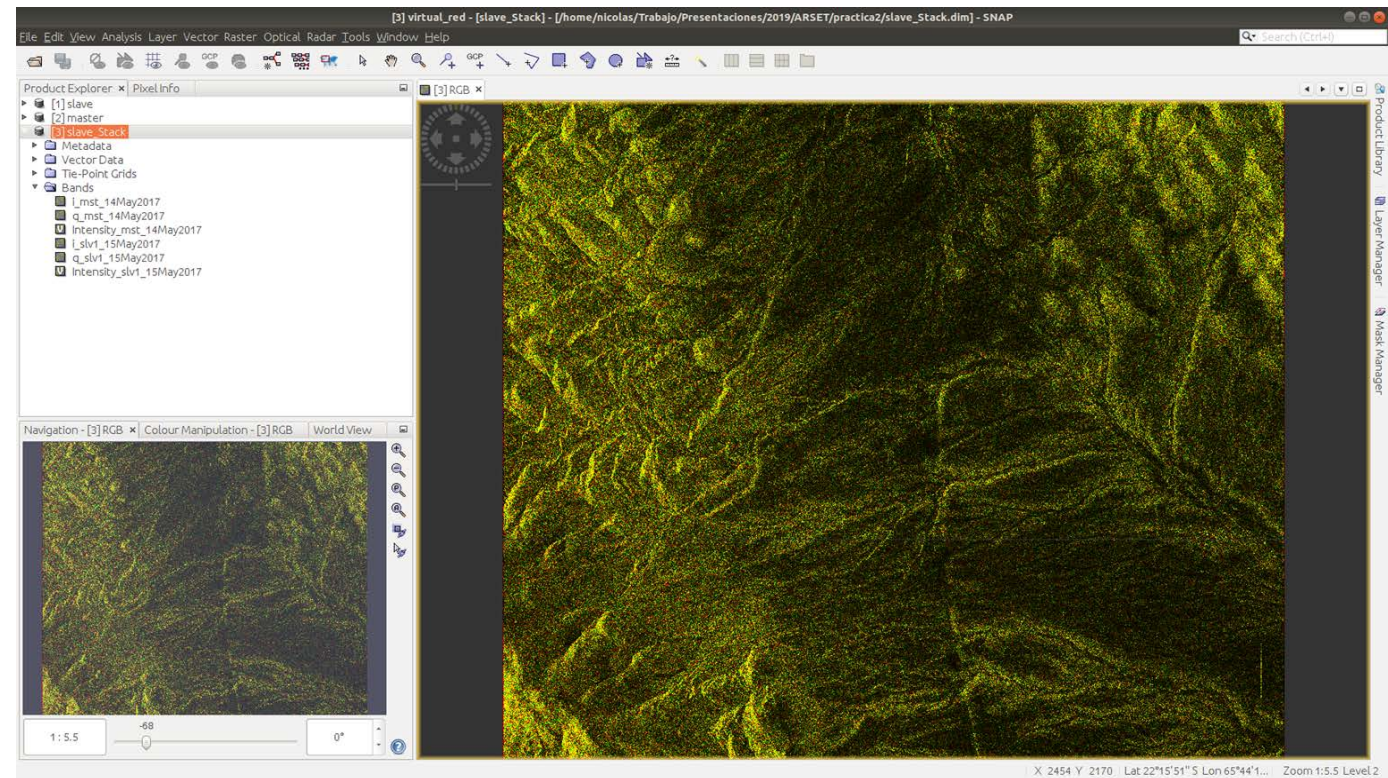
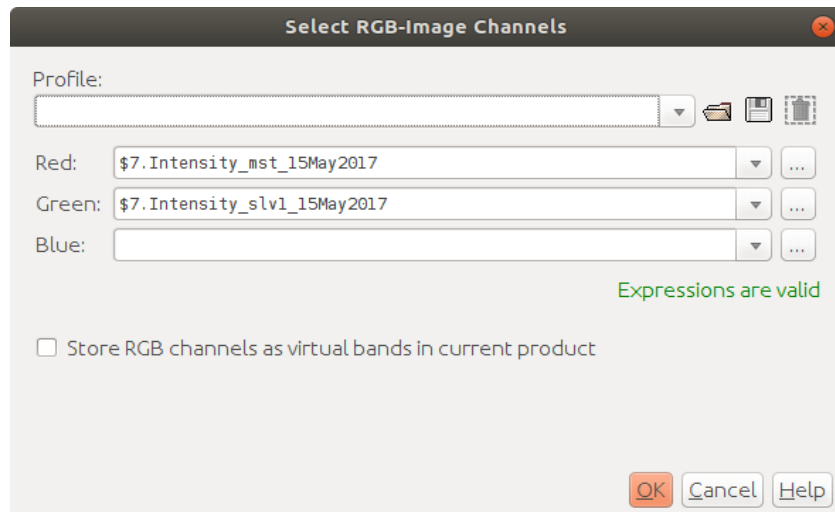
Paso 2 - Corregistro y Remuestreo

- Warp: Calcula la superficie de deformación para corregistrar la imagen slave con la imagen master a partir del mapa de desplazamientos obtenidos con el corregistro grueso y fino del paso anterior
- El orden del Warp polynomial depende de la forma que tenga el mapa de deformaciones. Normalmente con un orden 2 funciona bien
- En este paso se elige también el método de interpolación para remuestrear la imagen slave a la master



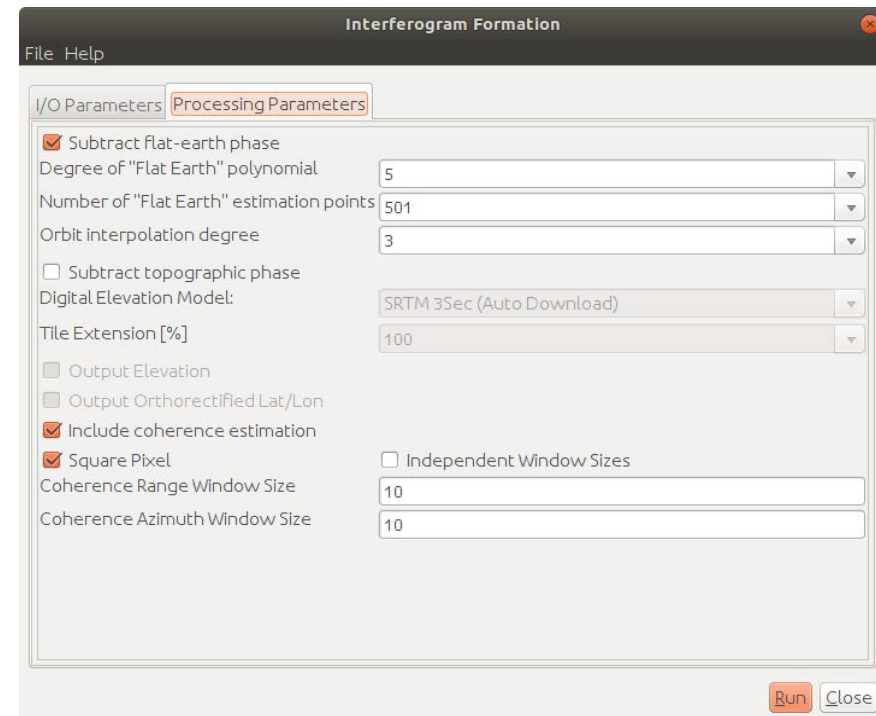
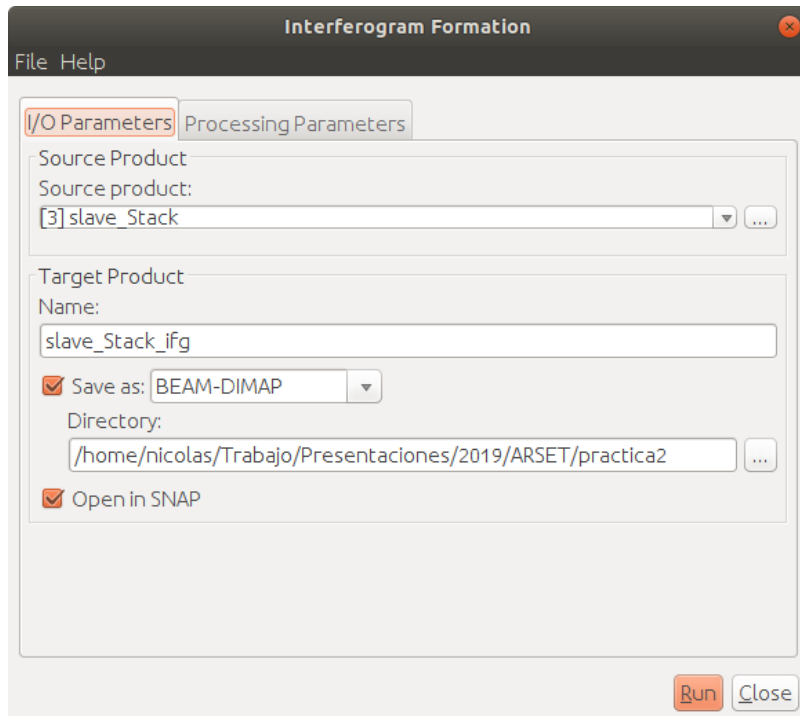
Paso 2.2 - Visualización del Corregistro

- Si la operación fue exitosa debería aparecer un tercer archivo en el Product Explorer. Hacer Click con el botón derecho sobre él y elegir Open RGB Image Window. Usar la imagen Master para el canal de color rojo y la Slave para el canal verde
- Se debería ver mayormente amarillo si el corregistro anduvo bien



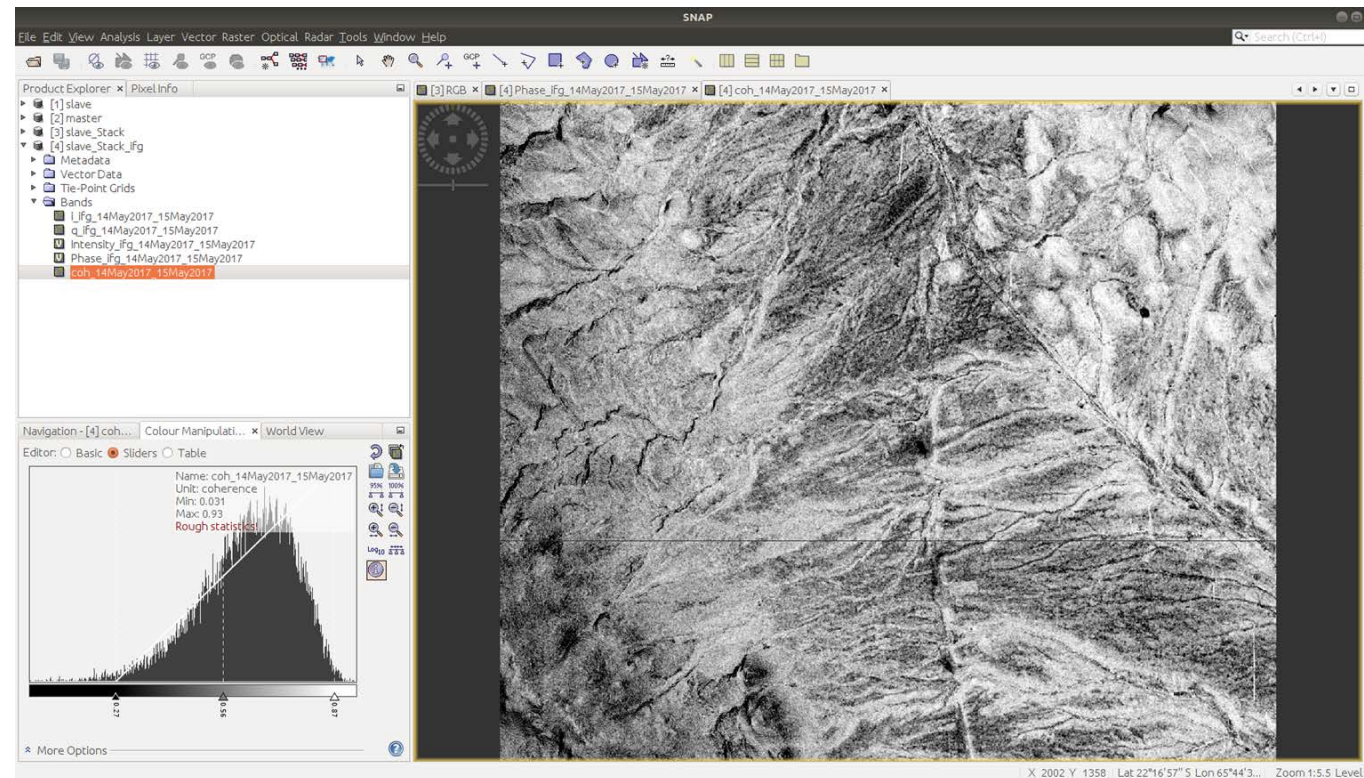
Paso 3 - Calculo del Interferograma

- *Radar > Interferometric > Products > Interferogram Formation*
- En este paso se calcula el interferograma haciendo la resta de fase pixel a pixel entre las imágenes corregistradas, se remueve la fase de referencia (tierra plana) y se calcula el mapa de coherencia

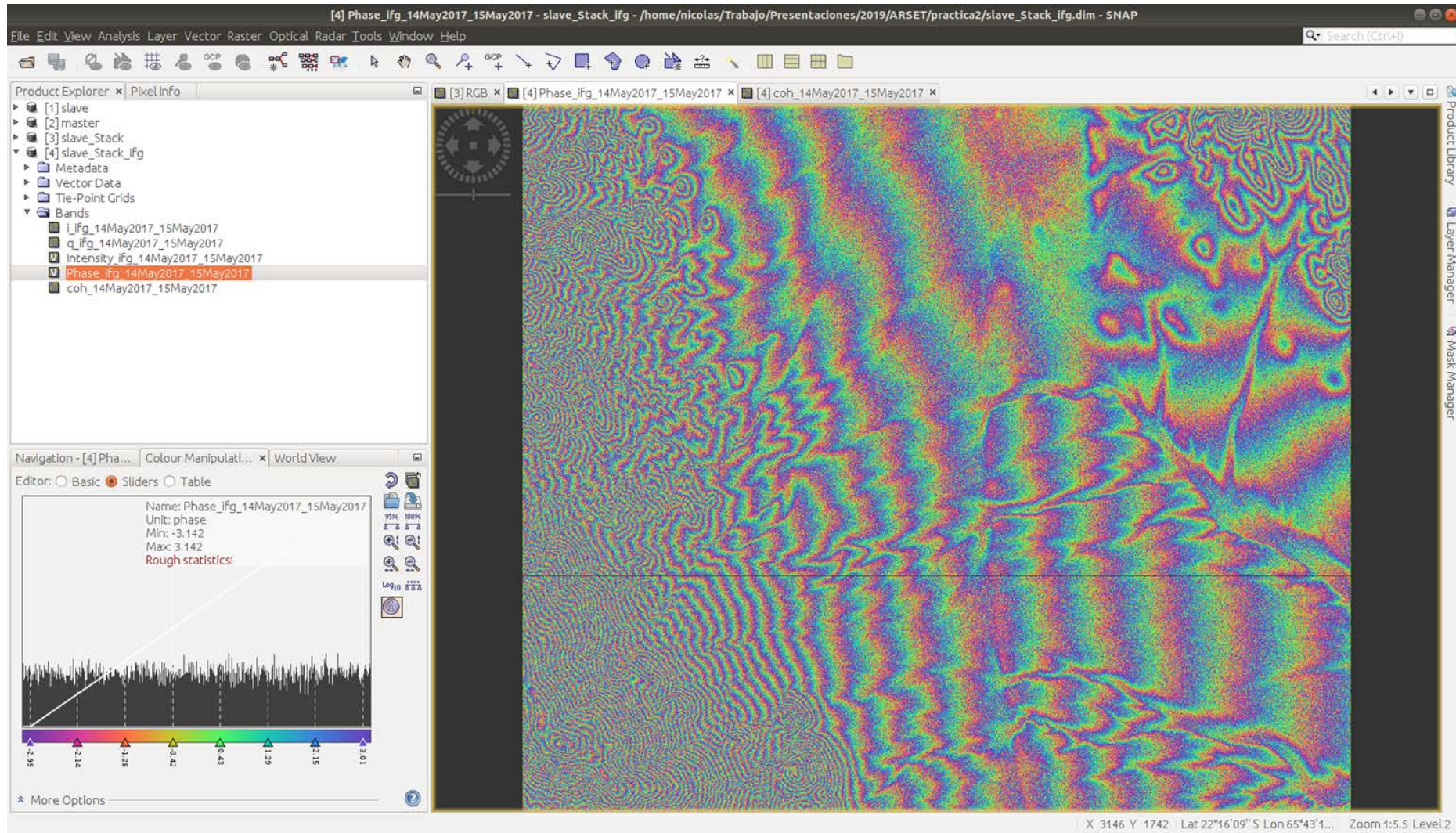


Paso 3 - Visualización de Mapa de Coherencia

- La imagen de coherencia resultante... puede ser interpretada como un índice de calidad del interferograma. Las zonas más claras son en las que el blanco cambió menos por lo que el dato interferométrico será más confiable



Paso 3 - Visualización de Interferograma



Paso 4 - Filtro multilook

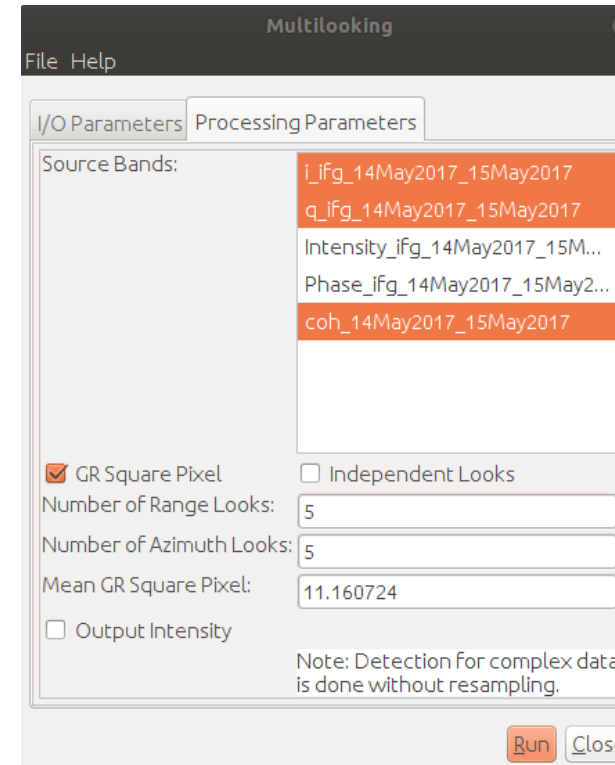
Aplicamos un filtro multilook de 5x5 (~pixel de 11m) para reducir el ruido
Radar > SAR Utilities > Multilooking > Goldstein Phase Filtering

IMPORTANTE

En la pestaña Processing Parameters

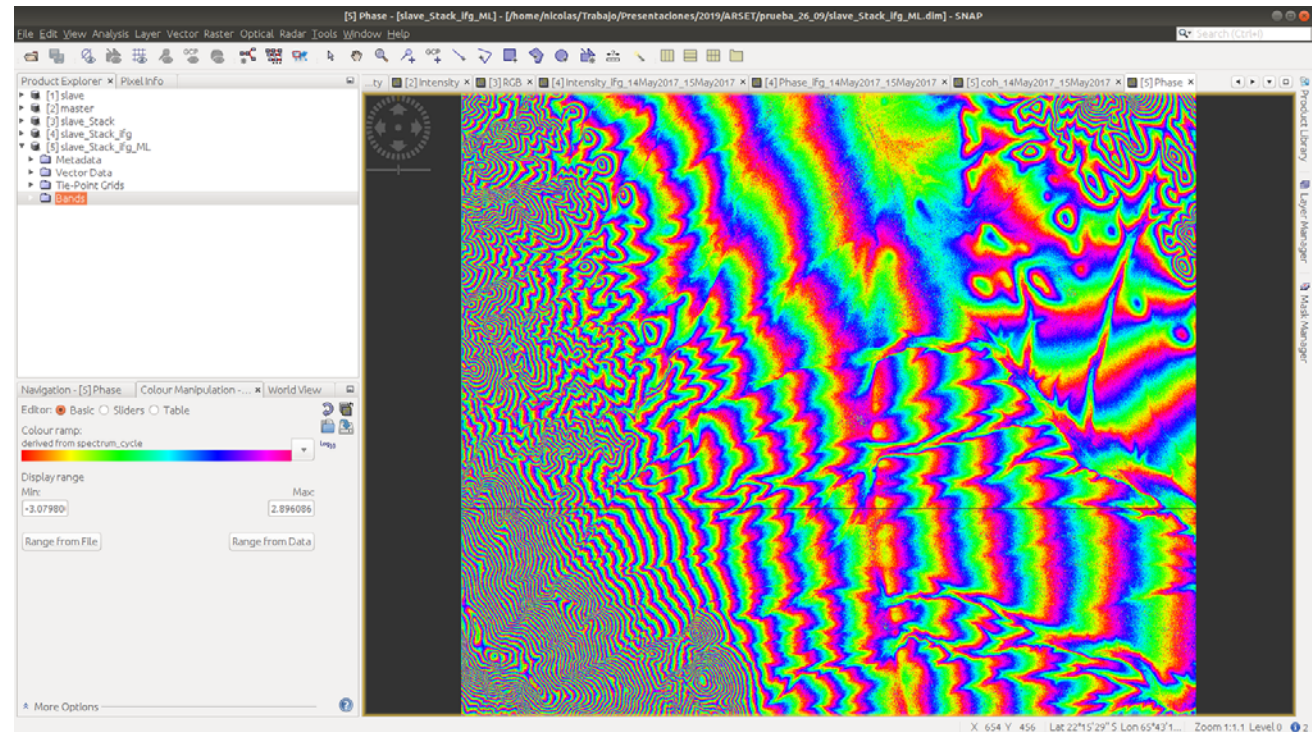
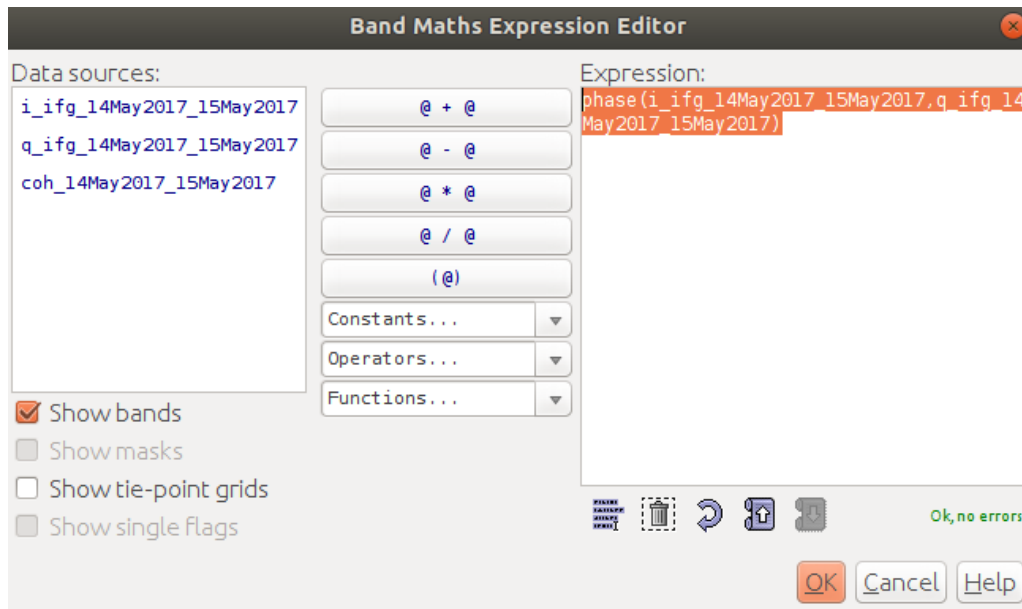
Seleccionar

- *Banda i*
- *Banda q*
- *Coherencia*



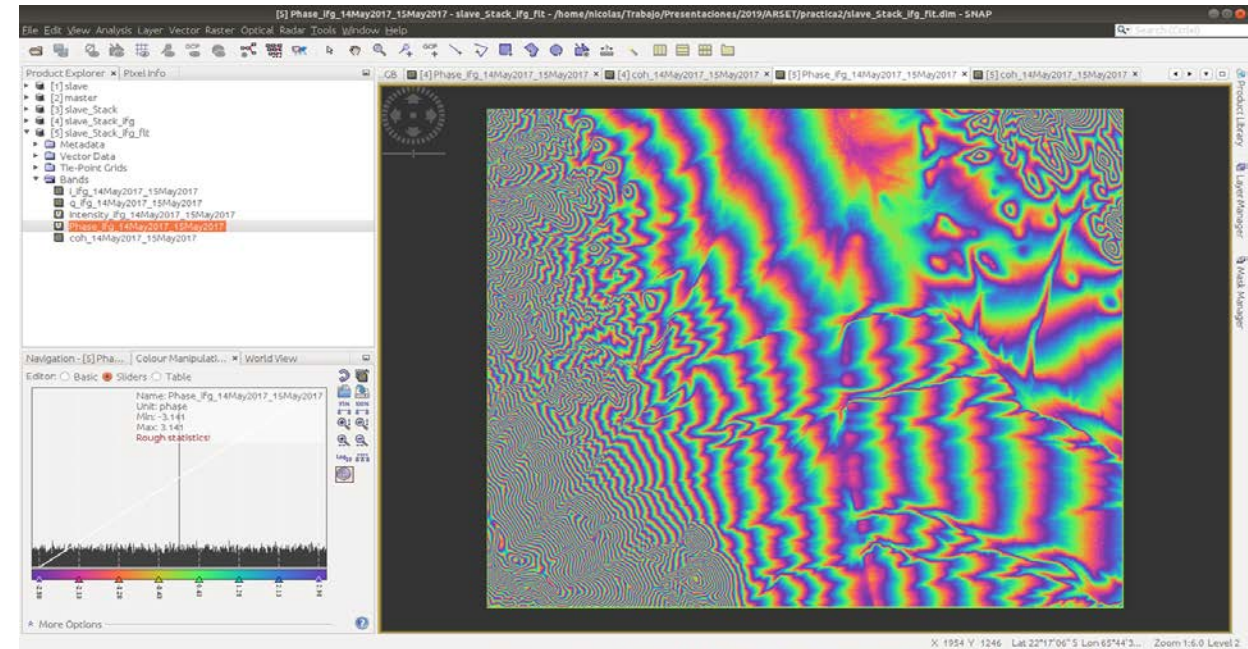
Paso 4 - Filtro multilook

Para visualizar el interferograma multilookeado hacemos clic derecho en slave_Stack_ifg_ML y luego en Band Math > Edit Expression



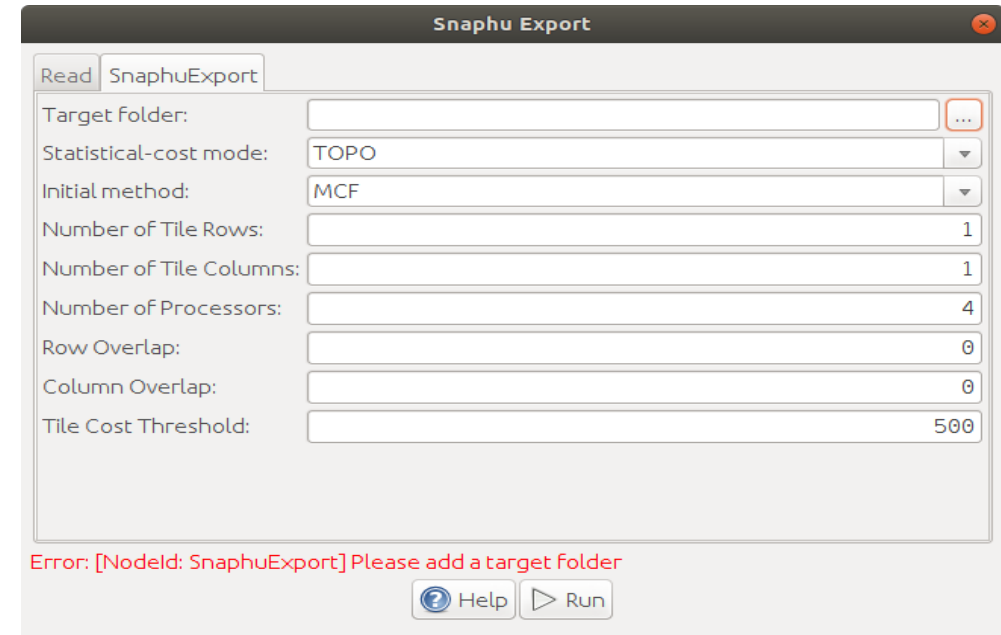
Paso 4 - Filtro de Goldstein

- Nuestro interferograma ya está casi listo pero podemos mejorarlo filtrando un poco el ruido. Para ello se suele usar el filtro de Goldstein.
- El filtro de Goldstein es un filtro adaptativo que trabaja en el espacio de frecuencia quedándose con las frecuencias predominantes de la fase interferométrica y desechando el ruido
- Para aplicar el filtro se debe ir a *Radar > Interferometric > Filtering > Goldstein Phase Filtering*



Paso 5 - Desenrollamos la Fase

- Ya casi tenemos el DEM, el siguiente paso es desenrollar la fase para sacarnos la ambigüedad de 2pi
- Para ello usamos el software open source Snaphu: <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/snaphu/>
- Notar que este software funciona para linux, por lo que se recomienda a los usuarios de Windows tener una Virtual Machine con Ubuntu 18.04 para poder instalar el Snaphu
- Para exportar el interferograma desde SNAP a Snaphu hacer:
- *Radar > Interferometric > Unwrapping > Snaphu Export*

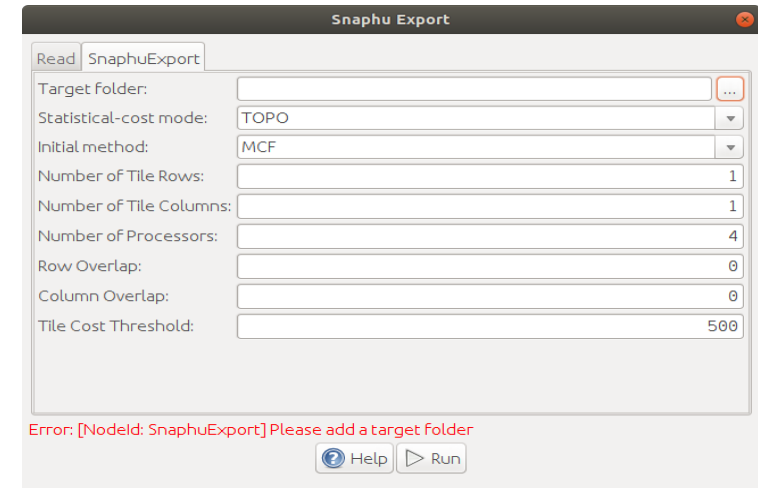


Paso 5 - Desenrollamos la Fase

- El paso anterior nos genera el archivo de configuración para ejecutar *Snaphu* y obtener la fase desenrollada
- Abrir la VM de Ubuntu con *snaphu* instalado e ir al directorio donde se especificó que guarde los resultados de la exportación
- Luego abrir el archivo **snaphu.conf** y en los comentarios de las primeras líneas aparece el comando que debemos ejecutar para hacer el desenrollado.
- En mi caso este es

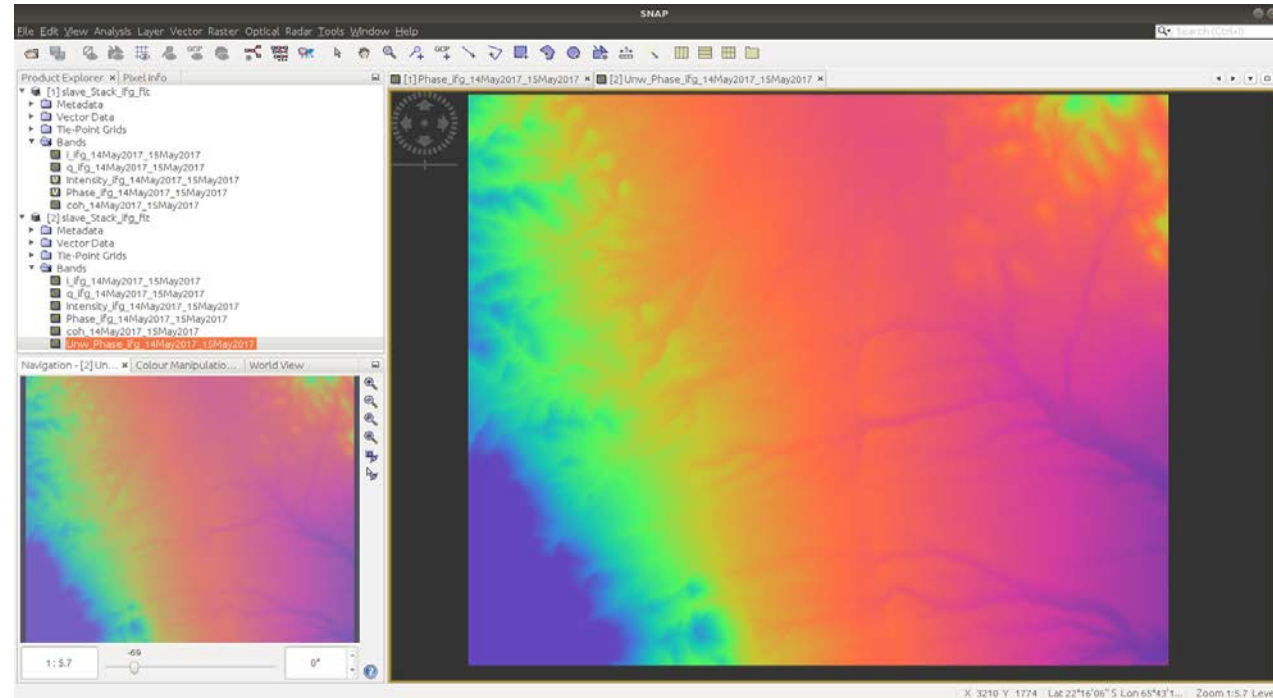
```
snaphu -f snaphu.conf Phase_ifg_14May2017_15May2017.snaphu.img 5783
```

- Abrir la terminal y ejecutar el comando
- Nota: es recomendable cerrar el SNAP antes de ejecutar este comando dado que consume mucha RAM



Paso 5 - Desenrollamos la Fase

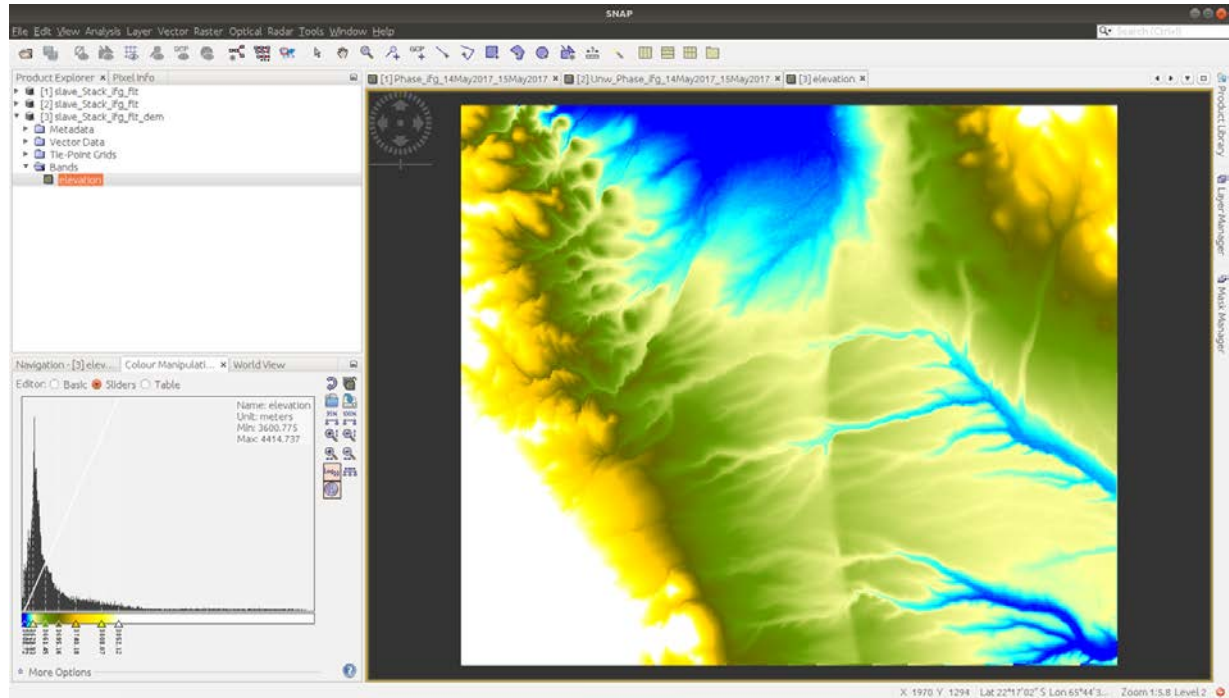
- Una vez que snaphu termina de desenrollar debemos importar el resultado en SNAP para poder continuar con el workflow de procesamiento
Radar > Interferometric > Unwrapping > Snaphu Import
- Y buscar el archivo con extensión UnwPhase*.hdr generado



Paso 6 - Conversión Fase a Altura

- El siguiente paso consiste en convertir la fase interferométrica a altura. Recordando la ecuación que vincula la fase con altura para el caso que no hay deformación, atmósfera, errores orbitales:

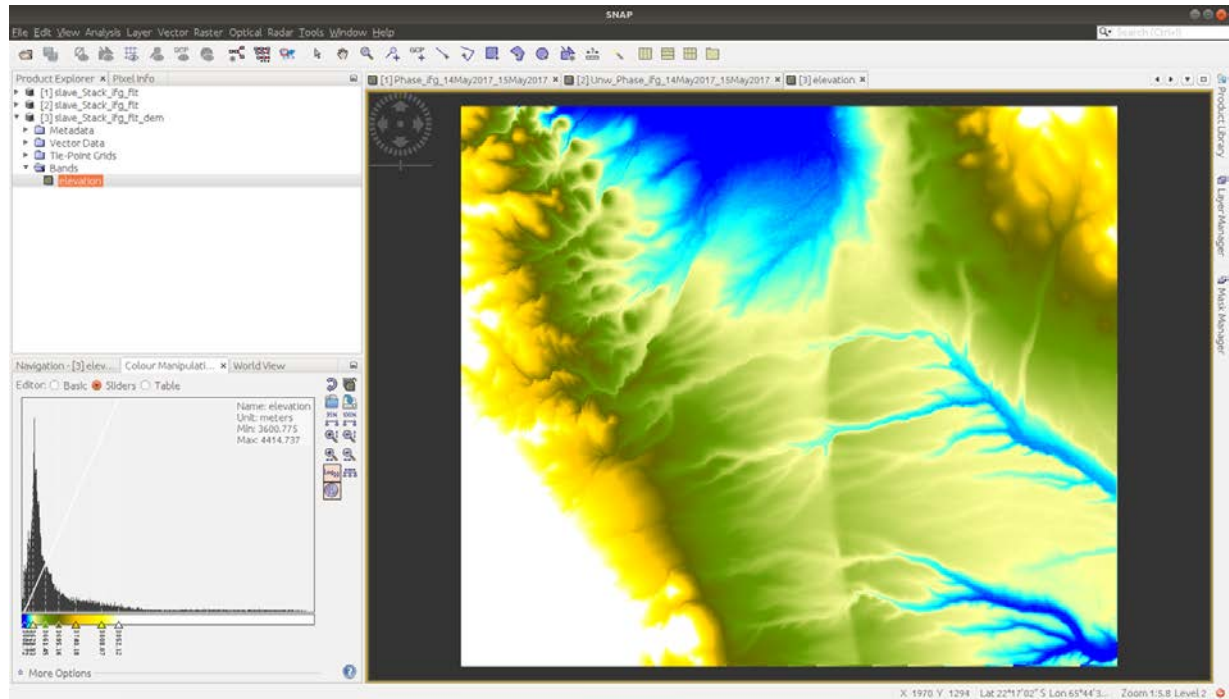
$$\phi = - \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta} z$$



Paso 6 - Conversión Fase a Altura

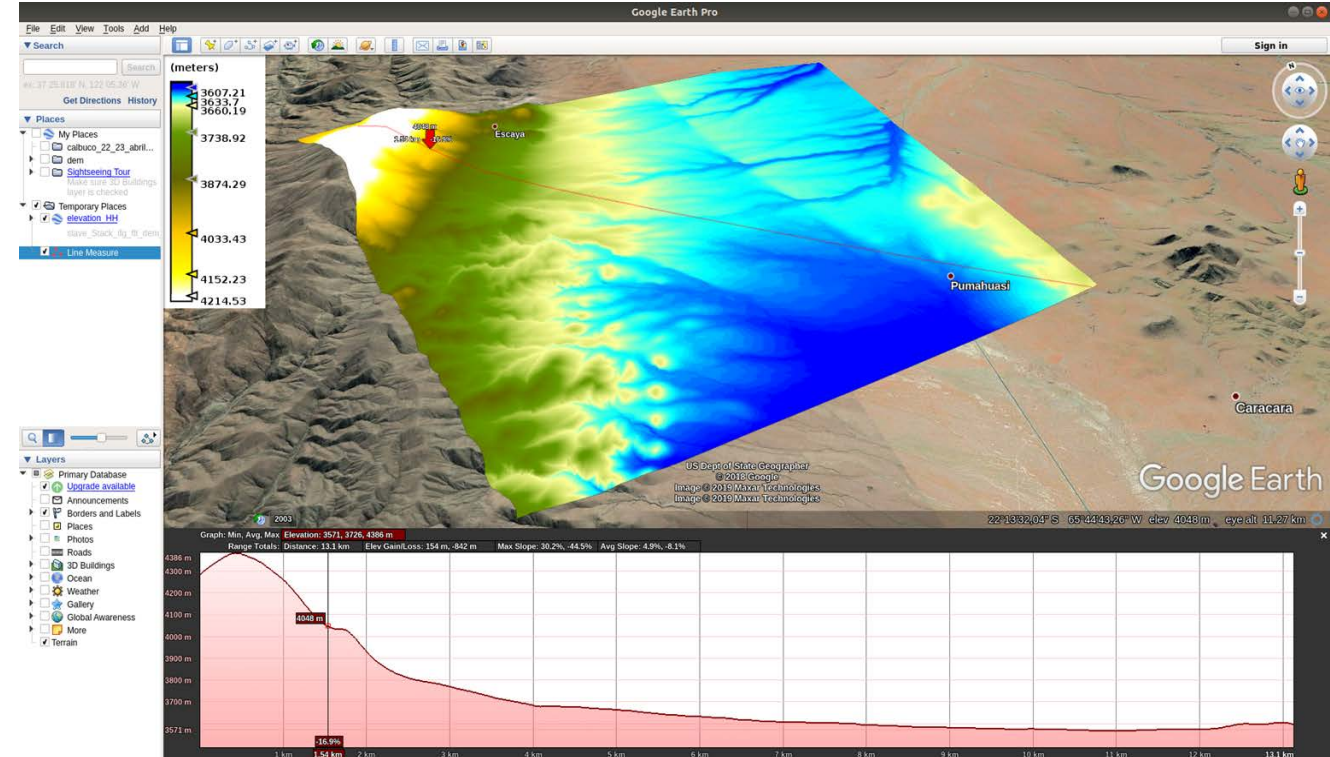
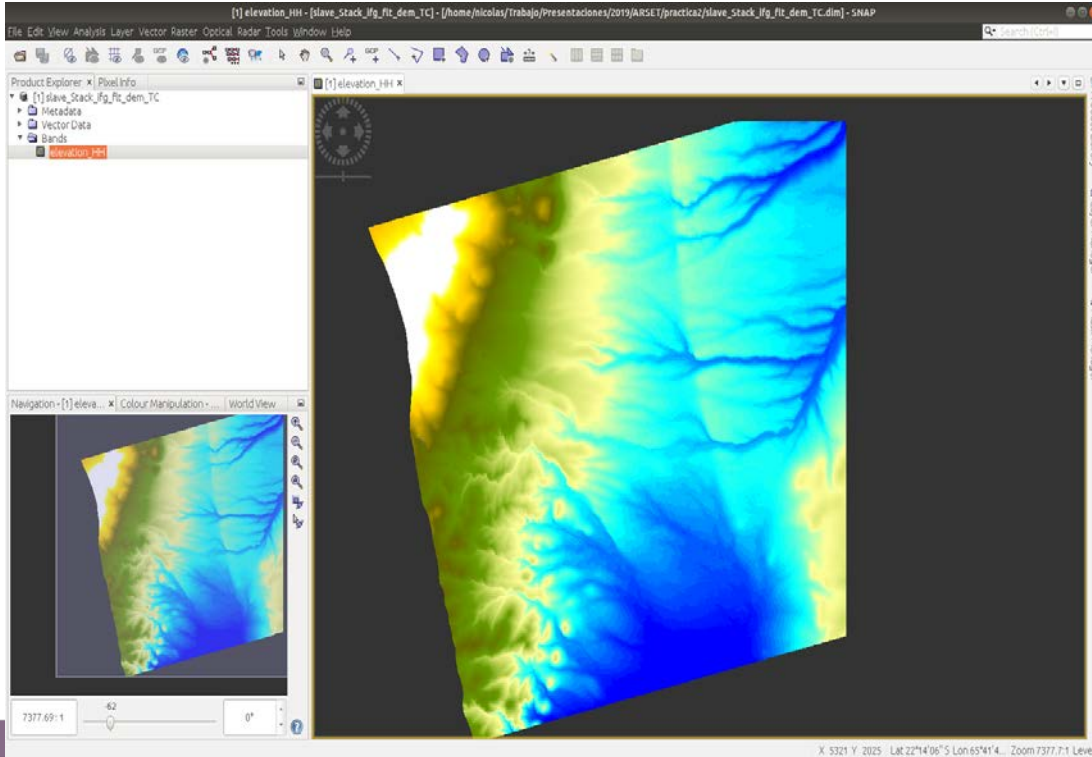
$$\phi = -\frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta} z$$

- La ecuación que vincula fase a altura no nos da información de una altura absoluta, sino de las alturas relativas entre píxeles de la imagen. El DEM está como "flotando". Por tal motivo es necesario usar una fuente externa (en nuestro caso el DEM SRTM de 3arc-sec) para poder pinchar esas alturas y referirse a una altura absoluta
- *Radar > Interferometric > Products > Phase to Elevation*



Paso 7 - Geoproyección

- Un último paso que podemos efectuar es la geocodificación de la imagen para llevar de coordenadas radar a un sistema cartográfico
- *Radar > Geometric > Terrain Correction > Range-Doppler Terrain Correction*



Para Tener en Cuenta

La fase interferométrica se puede escribir como: $\phi = k_z z + k_v v + \phi_{orb} + \alpha + \eta$

- Fase por errores orbitales:
 - Errores en baseline perpendicular \Rightarrow Rampa en la dirección de rango
 - Errores en variación de baseline paralelo (orbitas no paralelas) \Rightarrow Rampa en la dirección de azimut
- Fase por artefactos atmosféricos:
 - Suave espacialmente
 - Mucha variación en el tiempo

Para Tener en Cuenta

- En esta práctica hemos asumido que la fase interferométrica medida se debe a la topografía + ruido (que redujimos filtrando), considerando nulos los demás términos. El par utilizado fue un tándem (un día de diferencia entre las adquisiciones)
- Asumimos que:
 - Entre las adquisiciones no hubo ningún evento de desplazamiento
 - No hubo errores orbitales apreciables (no se vieron rampas raras en rango y azimut)
 - No hay artefactos atmosféricos (el clima de la región es muy seco y hay un día de diferencia)
- Si quisiéramos hacer un DEM con mayor rigurosidad deberíamos contrarrestar estos efectos.
- Normalmente esto se hace analizando un **stack de imágenes**, con técnicas avanzadas tales como SBAS/PSI

Muchas gracias!

ngrunfeld@conae.gov.ar