



INFORME TÉCNICO PRELIMINAR

**REANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE
DATOS SATELITALES**

**Sismo Provincia de San Juan
18 de enero de 2021**

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)

Federico CARBALLO, María Laura Pardo Duró

Eugenia WRIGHT, Melisa Soledad HEREDIA,

Gemma ACOSTA

Buenos Aires, 2021



INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y
RECURSOS
MINERALES

DIRECCIÓN DE GEOMÁTICA

INFORME TÉCNICO PRELIMINAR:

**REANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE DATOS
SATELITALES**

Sismo Provincia de San Juan

18 de enero de 2021

**Federico Carballo, María Laura Pardo Duró, Eugenia Wright,
Melisa Soledad Heredia, Gemma Acosta**

Julio 2021

INTRODUCCIÓN

Un sismo de 6,4 grados de magnitud en la escala de Richter con epicentro a 57 km al SO de San Juan, 113 km al N de Mendoza y 53 km al O de Va. Media Agua (31.854 S 68.963 O), con una profundidad de 8 Km, se registró a las 23:46 hs del 18 de enero de 2021, según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica – INPRES (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de estudio (Fuente: INPRES).

Con el objeto de estudiar una posible deformación superficial y procesos geológicos asociados se procedió al procesamiento de imágenes satelitales.

Para este fin se utilizaron imágenes Sentinel 1A y 1B, dos satélites de Radar de Apertura Sintética (SAR) diseñados y desarrollados por la Agencia Espacial Europea (ESA), que comparten el mismo plano orbital con una diferencia de fase de 180°. Tienen la capacidad de tomar imágenes de la superficie de la Tierra en banda C con una resolución espacial de 10 m.

MÉTODO

Se procesaron 21 imágenes Sentinel 1 SLC IW de órbita descendente con el fin de aplicar la técnica de Interferometría Diferencial de Radar (DInSAR) para identificar deformación en la superficie asociada al evento. Por otro lado, se realizó una serie de tiempo con las imágenes mediante la técnica DInSAR SBAS, para estudiar la historia de deformación del área de interés.

Los resultados fueron comparados con la base de datos de sismos, posteriores al evento derivados de la base de datos del **Instituto Nacional De Prevención Sísmica (INPRES)**, del período 18 de enero hasta 1 de febrero de 2021. Además, la serie de tiempo SAR fue comparada con la estación GNSS del Observatorio Astronómico Félix Aguilar (OFA) de la ciudad San Juan (Figura 2).

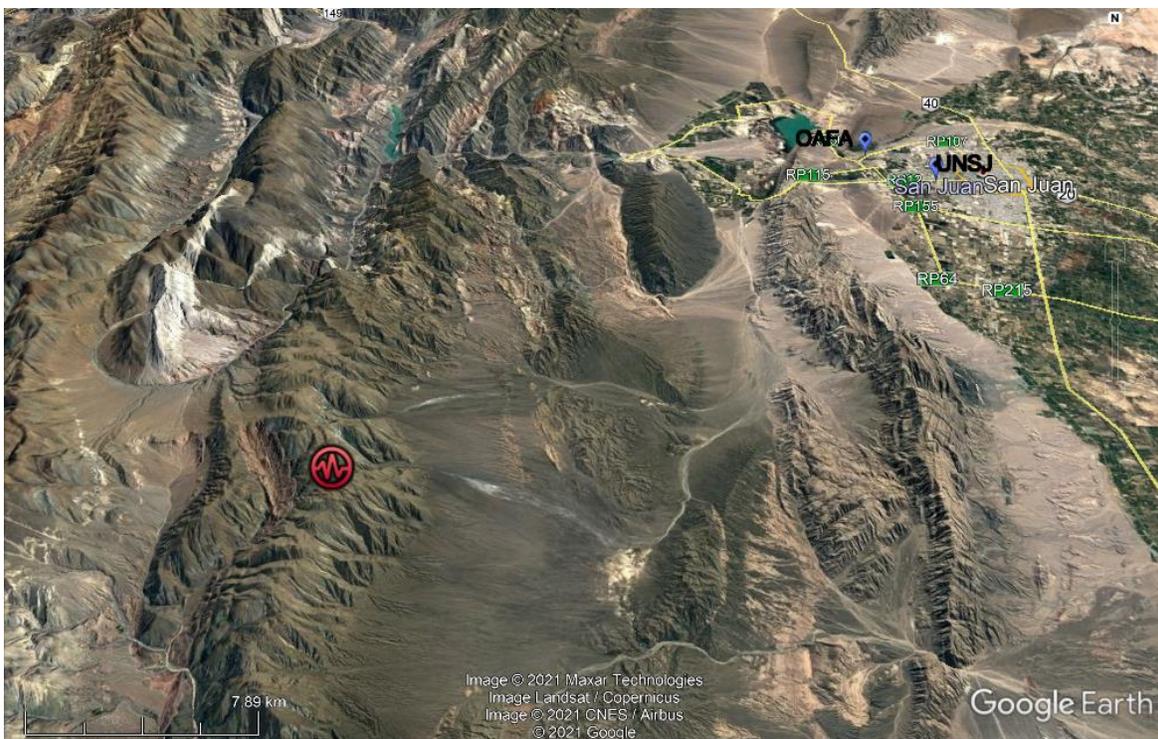


Figura 2. Imagen CNES/Airbus color natural del área de estudio (Fuente: Google Earth). El símbolo rojo representa el epicentro del sismo del 18 de enero de 2021. Hacia el sector noreste se observan las 2 estaciones GNSS de la ciudad de San Juan: OFA y UNSJ.

RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el área detallada en la figura 2.

En primer lugar, se generó un interferograma con imágenes Sentinel 1 con un intervalo de 12 meses, a partir de una imagen anterior al sismo -19 de enero de 2020- y una imagen posterior al mismo -25 de enero de 2021- (Figura 3).

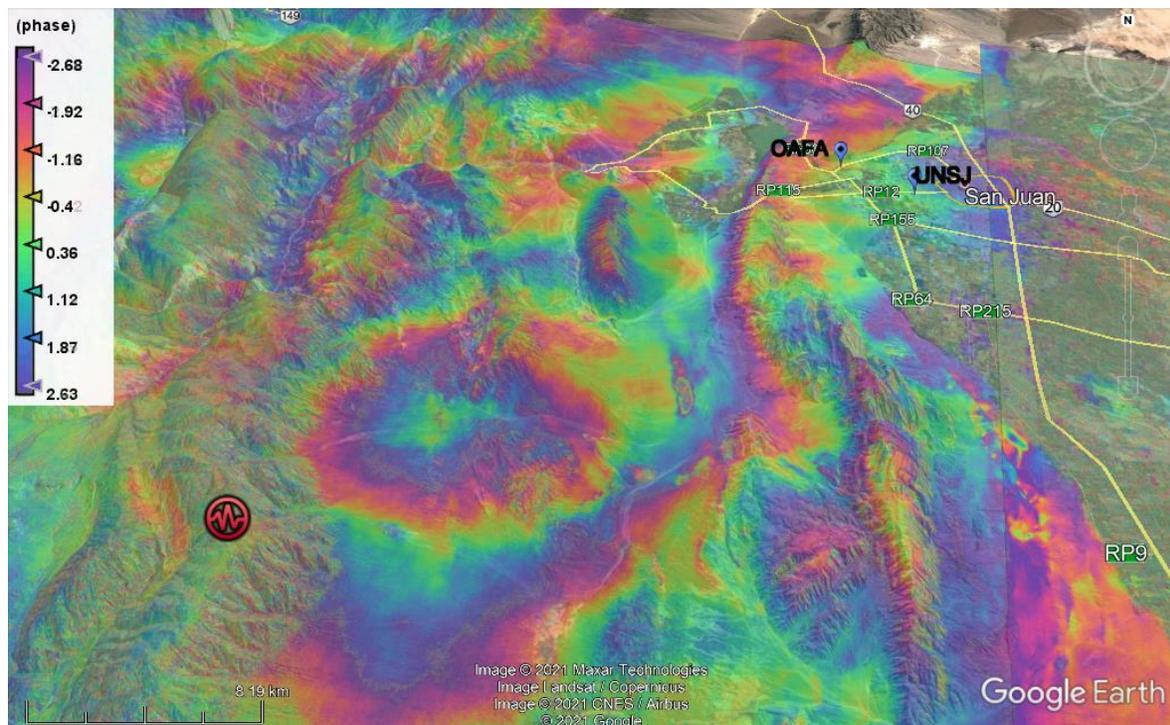


Figura 3. Interferograma generado a partir de imágenes Sentinel-1 del 19 de enero de 2020 y 25 de enero de 2021.

El interferograma de fase obtenido en la figura 3, que presenta valores de coherencia óptimos, muestra un patrón de deformación no asociado a la topografía, observándose una inflación con una diferencia entre ambas adquisiciones de ~ 6 cm aprox.

En la figura 4 se observa otro interferograma, generado con imágenes Sentinel 1 adquiridas entre el 8 y 20 de diciembre de 2020 con un intervalo de 12 días. Ambas adquisiciones son anteriores al evento registrado el 18 de enero de 2021.

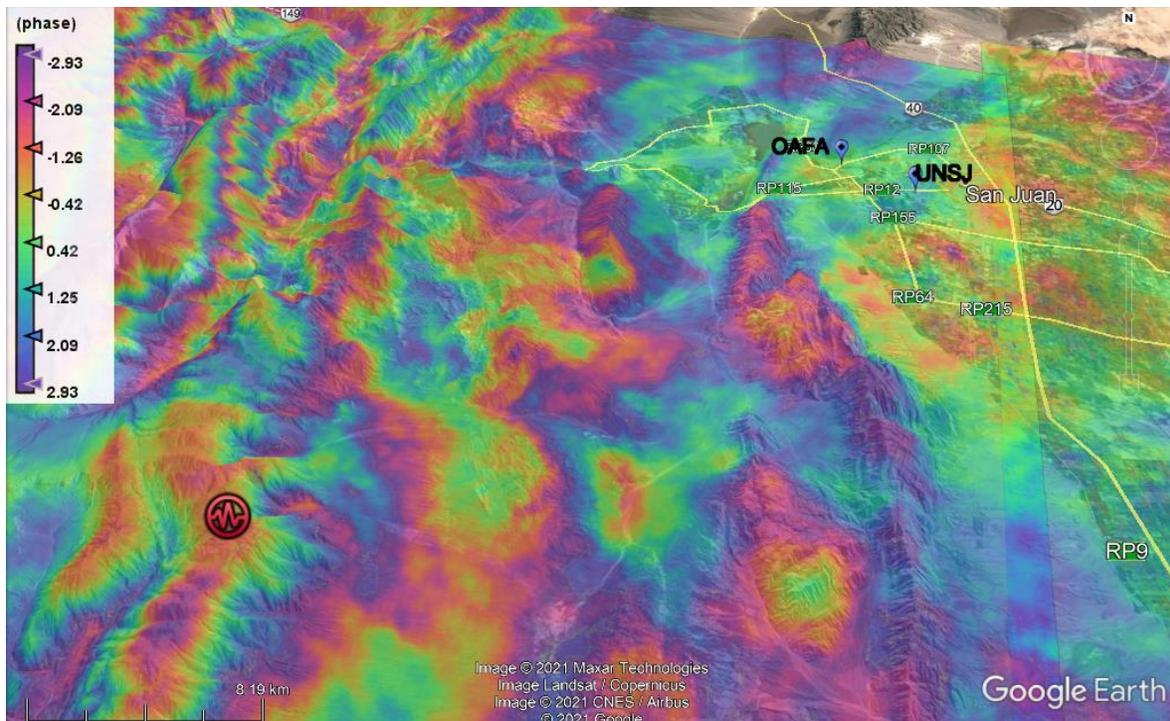


Figura 4. Interferograma generado a partir de imágenes Sentinel 1 del 8 y 20 de diciembre de 2020.

En este interferograma se observan valores de coherencia óptimos que permiten generar un interferograma de fase, el cual no muestra el patrón de deformación del interferograma anterior (Figura 3).

En la figura 5, se observa el interferograma generado con imágenes Sentinel 1 con un intervalo de 24 días, entre el 1° y 25 de enero de 2021, anterior y posterior al sismo.

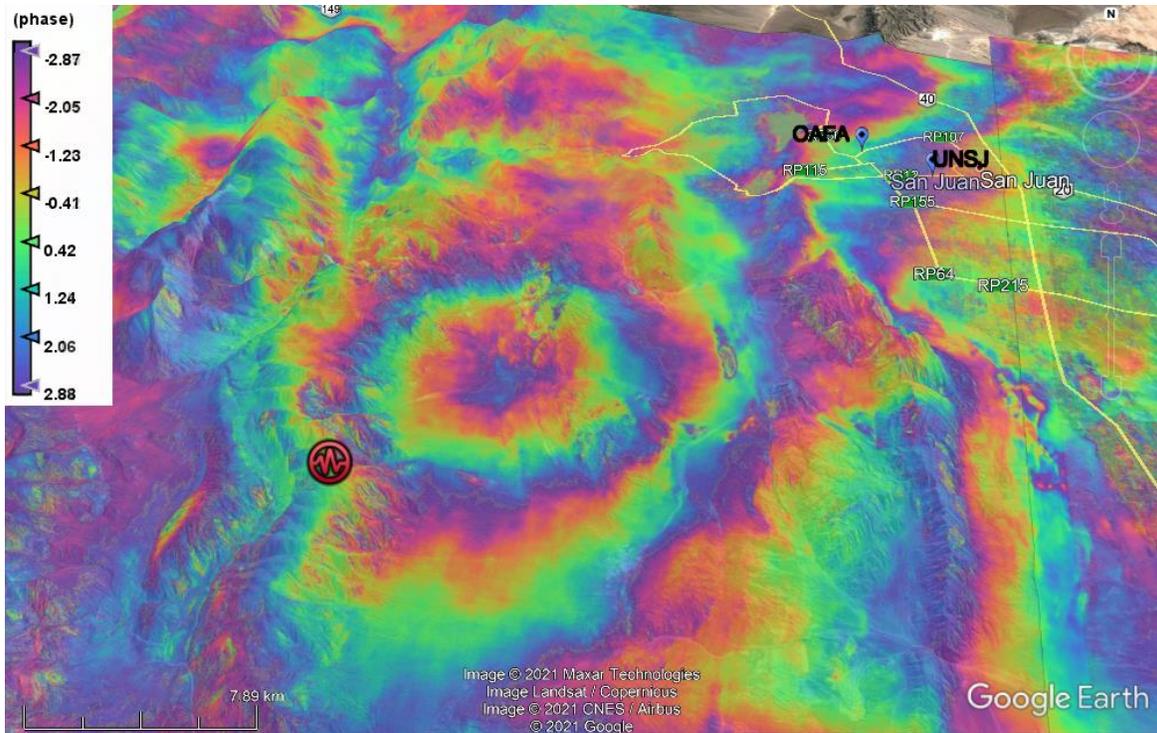


Figura 5. Interferograma generado a partir de imágenes Sentinel 1 del 1 y 25 de enero de 2021.

El interferograma obtenido en la figura 5, presenta valores de coherencia óptimos que permiten generar un interferograma de fase, el mismo muestra un patrón de deformación no asociado a la topografía, que muestra una inflación, con una diferencia entre ambas adquisiciones de ~6 cm aprox.

La figura 6, muestra el interferograma generado con imágenes Sentinel-1 del 1° de enero y 6 de febrero de 2021 con un intervalo de 37 días. Las fechas seleccionadas, al igual que en el interferograma anterior, también abarcan el evento analizado.

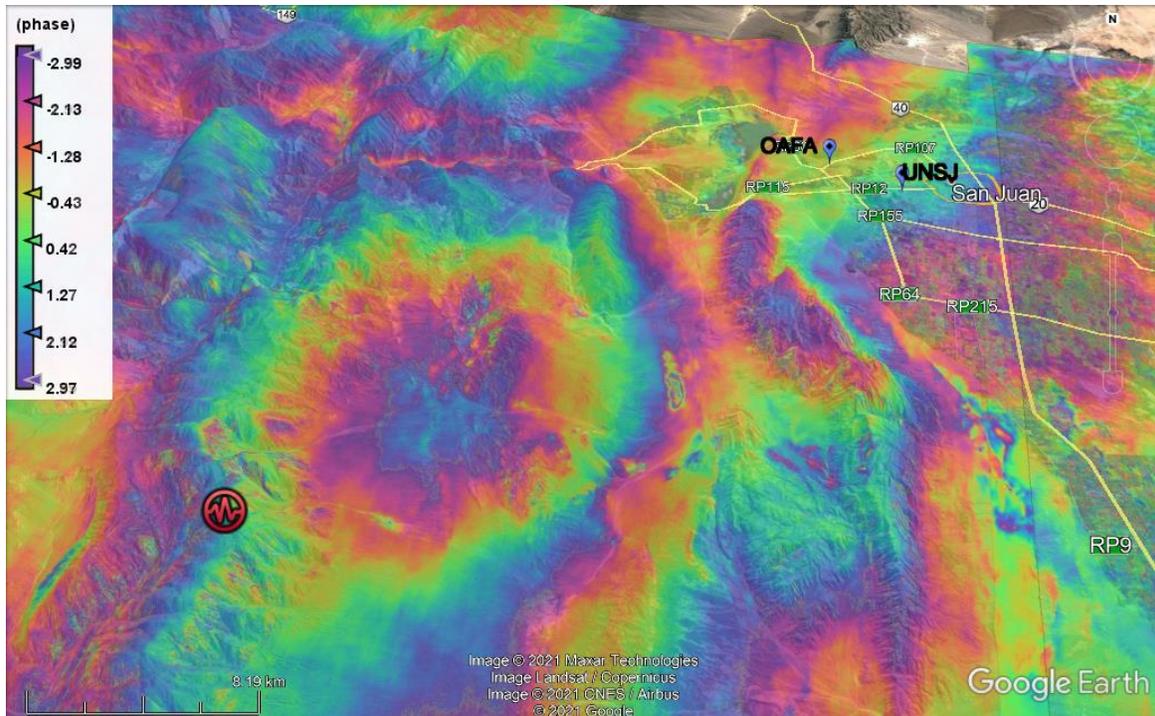


Figura 6. Interferograma generado a partir de imágenes Sentinel 1 del 1° de enero y 6 de febrero de 2021.

El interferograma obtenido en la figura 6 presenta valores de coherencia óptimos que permiten generar un interferograma de fase. El mismo muestra un patrón de deformación no asociado a la topografía, con una inflación de ~6 cm aprox.

Si observamos la distribución de los sismos posteriores al evento en el área hasta el 1 de febrero de 2021, podemos observar una concentración de los mismos en el sector cercano al epicentro del sismo analizado.

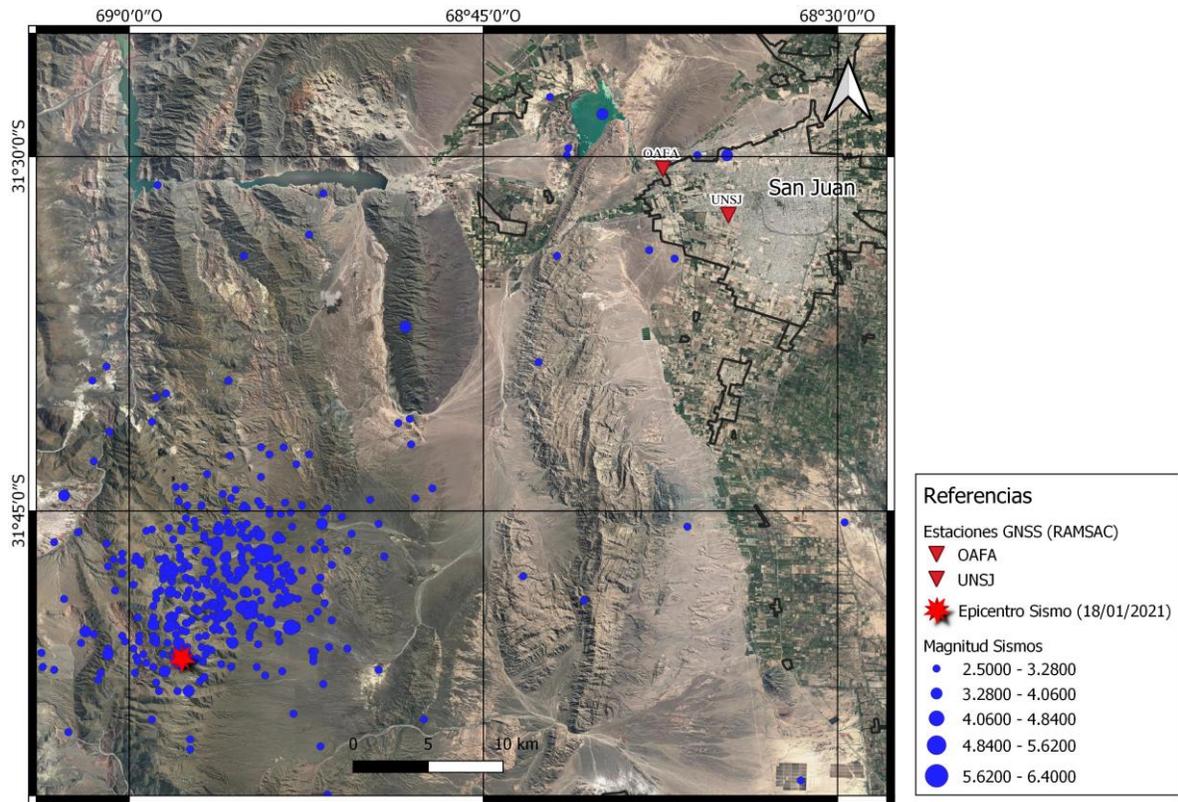


Figura 7. Ubicación de los sismos posteriores al evento del 18 de enero de 2021, hasta 1 de febrero de 2021.

Al comparar la ubicación de los sismos de la figura 7 con el patrón de deformación resultante de los distintos interferogramas, podemos observar que existen coincidencias entre ambos (Figura 8).

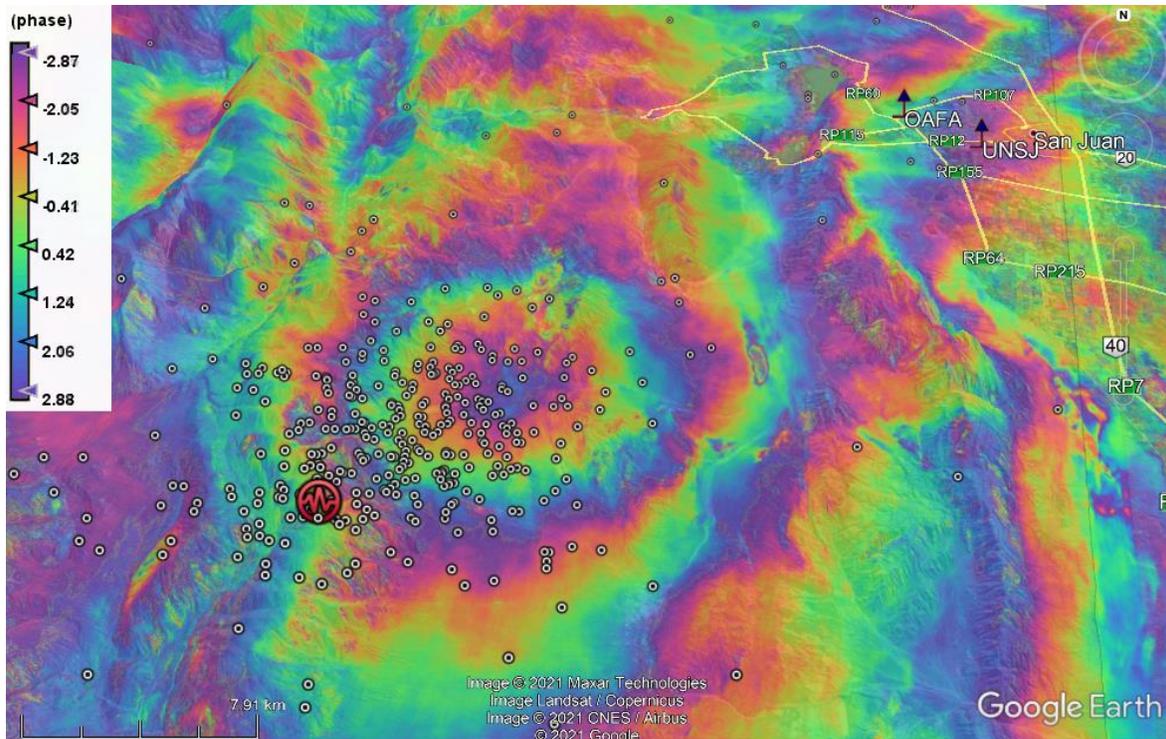


Figura 8. Comparación de la ubicación de los sismos posteriores al evento del 18 de enero de 2021, hasta 1 de febrero de 2021 y el patrón de deformación observado en el interferograma derivado de las imágenes del 1 y 25 de enero de 2021.

Posteriormente, se realizó un análisis de series de tiempo a partir de imágenes SAR, centrado en este patrón de deformación, con los softwares ISCE/MintPy. Para este fin se procesaron 21 imágenes Sentinel 1 de orbita descendente desde agosto de 2020 hasta abril 2021, finalmente se realizó una corrección troposférica *Heigh Correlation*.

La serie temporal obtenida del procesamiento DInSAR SBAS mencionado anteriormente, muestra una velocidad media de deformación de ~ 7.5 cm/año respecto a un punto de referencia ubicado a la lat. -31.50868° / lon. -68.62327° (estación GNSS OFA¹ en la figura 9) para el período de tiempo analizado, coincidente con el patrón de deformación observado en los interferogramas de las figuras anteriores.

¹ <https://www.ign.gob.ar/archivos/ramsac/estacion2.php?estacion=OFA> (2021)

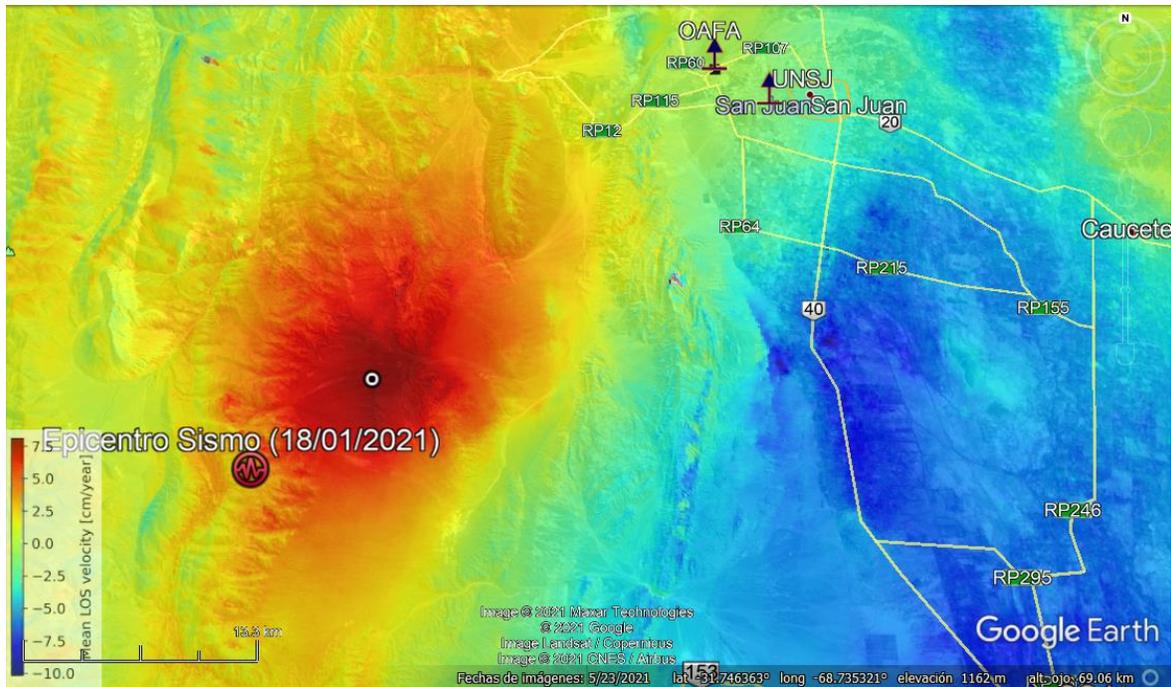


Figura 9. Velocidad de desplazamiento promedio en la línea de vista del sensor con un máximo de ~8 cm/año para el período analizado.

La figura 10 muestra la serie temporal de deformación DInSAR extraída de un punto cercano a la zona donde sucedió el evento, de coordenadas lat. $-31,7794^\circ$ / lon. $-68,8932^\circ$ (Círculo blanco y negro en la figura 9). En la misma, se puede observar un cambio en la aceleración de la deformación de aproximadamente 4 cm coincidente con la fecha del sismo (línea perpendicular punteada en la figura 10).

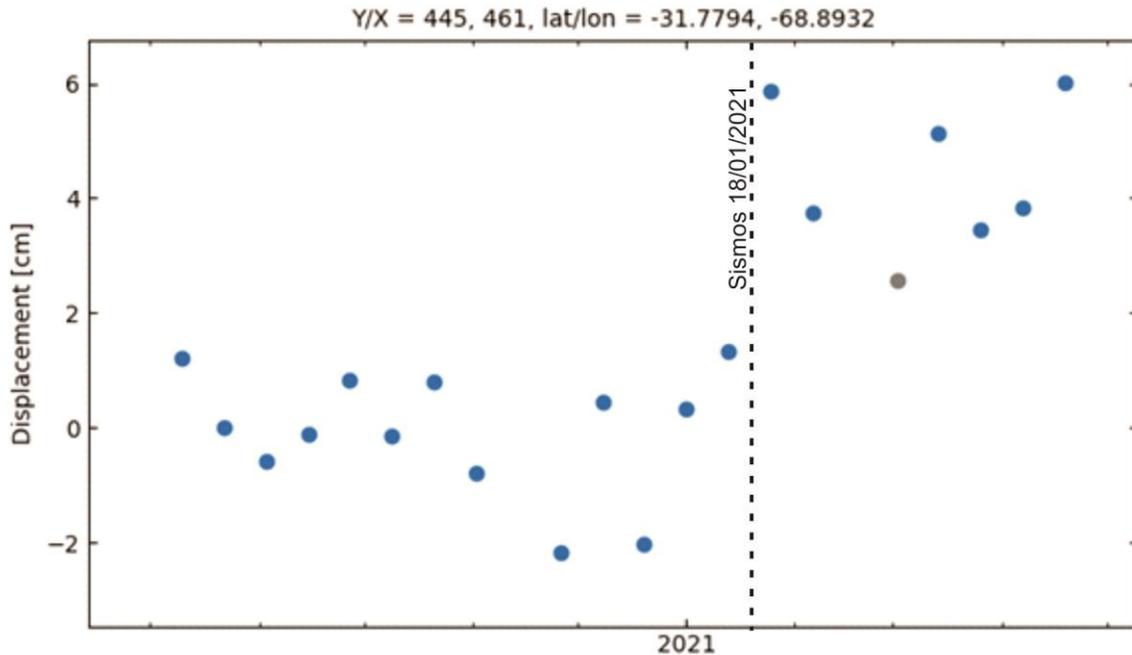


Figura 10. Serie de desplazamiento acumulado para el punto geográfico $-31,7794^{\circ}/-68,8932^{\circ}$, donde se observa un escalón en los valores acumulados de deformación.

En la Figura 10 se puede observar que los valores antes del sismo se encuentran por debajo de los 2 cm. Posterior al evento los valores se encuentran por encima de los 2 cm.

CONCLUSIONES

Las imágenes Sentinel 1 permitieron generar interferogramas de fase que presentan valores de coherencia óptimos, los cuales muestran un patrón de deformación al suroeste de la ciudad de San Juan. El procesamiento DInSAR SBAS realizado con las 21 imágenes SAR provenientes del Sensor Sentinel 1, muestran desplazamiento en la zona de estudio debido al movimiento sísmico sucedido el 18 de enero del 2021 en la provincia de San Juan.

El análisis del interferograma independiente (01/01/2021-25/01/2021, figura 8), abarcando la fecha del evento, muestra un desplazamiento ~ 6 cm.

En la serie temporal de deformación se observa un salto de ~4cm coincidente con la fecha del sismo.

Si bien los interferogramas obtenidos poseen buena coherencia, los mismos muestran patrones de efectos atmosféricos, especialmente estratificación troposférica. En base a esto, se requiere continuar trabajando en el procesamiento, implementando otras técnicas que ayuden a disminuir la influencia atmosférica y mejorar la resolución de los valores de desplazamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Dvorak, J. y Dzurisin, D. (1997) *Volcano geodesy: The search for magma reservoirs and the formation of eruptive vents*, Reviews of Geophysics, vol. 35, no. 3, p. 343, 1997 en Piedra Vilches (2016).

Massonnet, D. y Feigl, K. (1998) *Radar Interferometry and its application to changes in the Earth's Surface*. Reviews of Geophysics, 36,4 /Noviembre 1998, paginas 441-500.

Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F. Peltzer, G., Feigl, K. y Rabaute, T. (1993) *The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry*, Nature, vol. 364, no. 6433, pp. 138–142, julio 1993

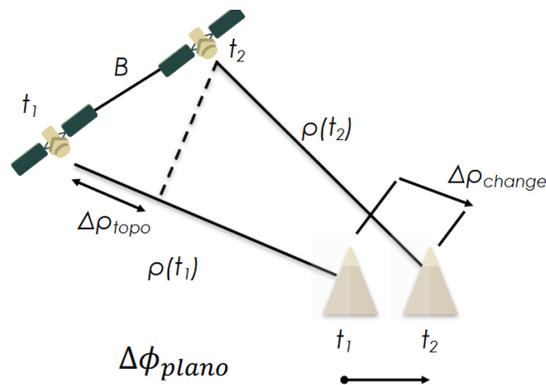
Pritchard M. y Simons M., A satellite geodetic survey of large-scale deformation of volcanic centres in the central Andes, Nature, vol. 418, no. 6894, pp. 167–171, Jul. 2002 en Piedra Vilches (2016).

ANEXO

DInSAR

Tanto los sensores ópticos como los SAR nos pueden proporcionar información útil para la comprensión del dinamismo de las erupciones volcánicas. Con el fin de medir las deformaciones en terreno, la inflación y la deflación del edificio volcánico, Interferometría SAR (InSAR) es una adecuada técnica como se ha demostrado desde sus primeras aplicaciones (D. Massonnet et al., 1993).

La aplicación de interferometría diferencial de Radar (DinSAR) para medir cambios en la superficie presenta resultados muy precisos en el estudio de volcanes. Ésta técnica calcula el patrón de interferencia causado por la diferencia de fase entre dos imágenes adquiridas por un SAR en dos momentos diferentes. El resultado es un mapa de relieve del cambio en distancia entre la superficie y el radar (Massonnet, 1998). Pueden registrarse movimientos en la topografía con una precisión centimétrica.



InSAR también ha permitido la investigación de la deformación a gran escala de las zonas volcánicas debido a los movimientos de magma y fluidos hidrotermales (M. Pritchard et al., 2002), proporcionando algunas pistas sobre las complejas relaciones entre la deformación y el comportamiento eruptivo en estratovolcanes (J. Dvorak et al., 1997). Más recientemente, innovadoras técnicas InSAR multitemporales explotan una enorme cantidad de datos SAR, proporcionando mapas de deformación de la superficie en largos períodos de tiempo,

haciendo posible el análisis de deformación de movimientos lentos superficiales del edificio volcánico.

Detalle de imágenes Sentinel 1 utilizadas.

Tipo de órbita: Descendendente

S1B_IW_SLC__1SDV_20200810T095501_20200810T095528_022859_02B64C_B42D

S1B_IW_SLC__1SDV_20200822T095501_20200822T095528_023034_02BBC9_3D04

S1B_IW_SLC__1SDV_20200903T095502_20200903T095529_023209_02C138_A27E

S1B_IW_SLC__1SDV_20201009T095503_20201009T095530_023734_02D1A5_E97B

S1B_IW_SLC__1SDV_20200915T095503_20200915T095530_023384_02C6BD_7DCF

S1B_IW_SLC__1SDV_20200927T095503_20200927T095530_023559_02CC3A_8216

S1B_IW_SLC__1SDV_20201021T095503_20201021T095530_023909_02D71E_02D1

S1B_IW_SLC__1SDV_20201102T095503_20201102T095530_024084_02DC8B_5471

S1B_IW_SLC__1SDV_20201126T095503_20201126T095530_024434_02E78B_07CA

S1B_IW_SLC__1SDV_20201208T095502_20201208T095529_024609_02ED25_F6DA

S1B_IW_SLC__1SDV_20201220T095501_20201220T095529_024784_02F2D7_DF04

S1B_IW_SLC__1SDV_20210101T095501_20210101T095528_024959_02F879_B2E1

S1B_IW_SLC__1SDV_20210113T095500_20210113T095527_025134_02FE1B_5350

S1B_IW_SLC__1SDV_20210125T095500_20210125T095527_025309_0303A9_B10F

S1B_IW_SLC__1SDV_20210206T095500_20210206T095527_025484_030951_494D

S1B_IW_SLC__1SDV_20210218T095459_20210218T095512_025659_030F05_A7FC

S1B_IW_SLC__1SDV_20210302T095459_20210302T095526_025834_0314C2_C2FF

S1B_IW_SLC__1SDV_20210314T095459_20210314T095526_026009_031A6F_2E0C

S1B_IW_SLC__1SDV_20210326T095459_20210326T095526_026184_032000_D8AB

S1B_IW_SLC__1SDV_20210407T095500_20210407T095527_026359_03258E_3708

S1B_IW_SLC__1SDV_20210419T095500_20210419T095527_026534_032B2C_40E1