



INSTITUTO DE  
**G**EOLOGÍA Y  
**R**ECURSOS  
**M**INERALES



**SegemAR**  
Servicio Geológico Minero Argentino

INFORME TÉCNICO:

# LA DETECCIÓN DE DEFORMACIÓN A PARTIR DE INTERFEROMETRÍA DIFERENCIAL

## VOLCÁN DOMUYO

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)

Ma. Laura PARDO DURÓ  
Eugenia WRIGHT  
Federico CARBALLO  
Soledad HEREDIA

Buenos Aires 2021



**INFORME TÉCNICO:**

**LA DETECCIÓN DE DEFORMACIÓN A PARTIR DE  
INTERFEROMETRÍA DIFERENCIAL**

**VOLCÁN DOMUYO**

DINSAR: Ma. Laura Pardo Duró

Eugenia Wright

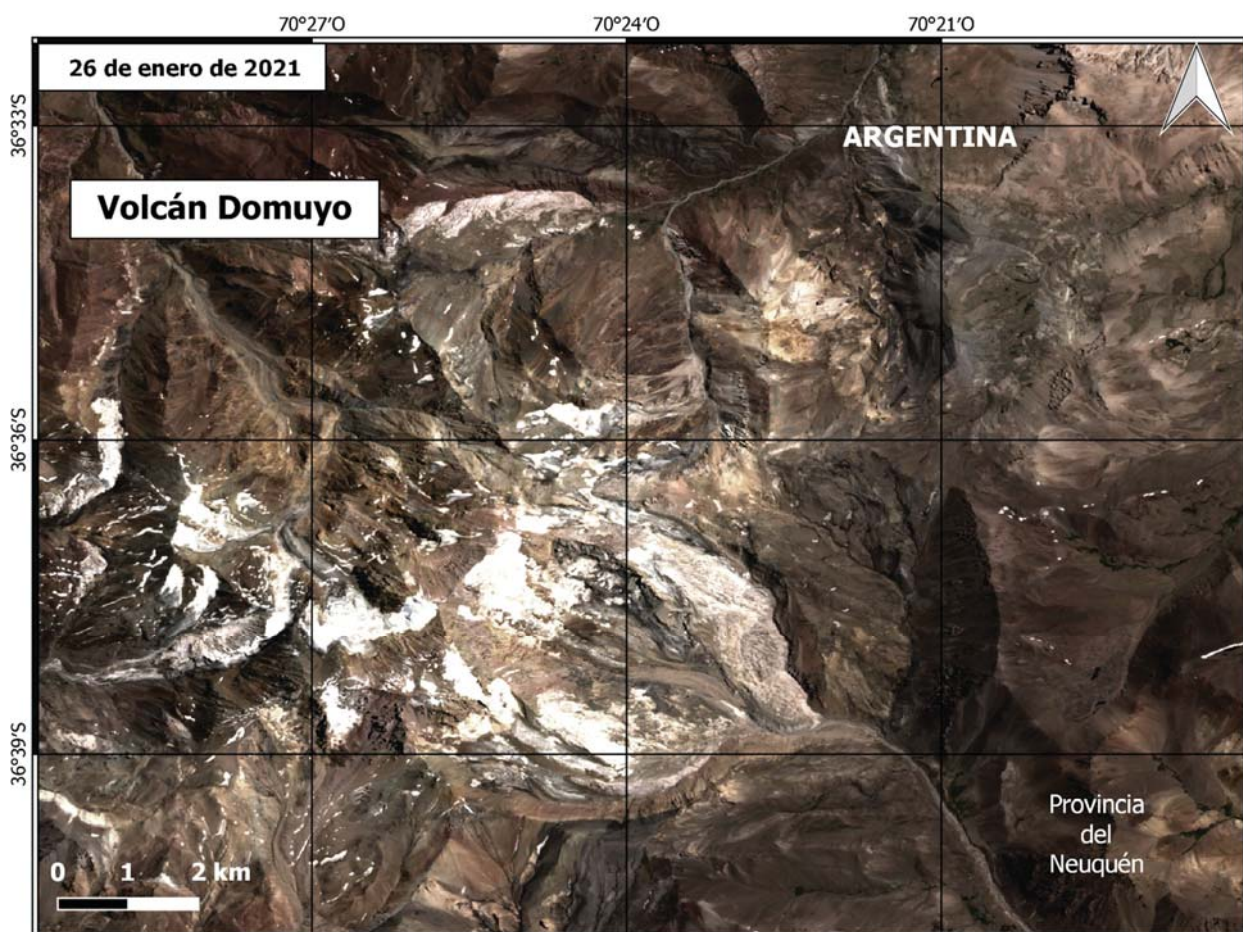
Federico Carballo

Soledad Heredia

**Octubre 2021**

## INTRODUCCIÓN

El volcán Domuyo (Figura 1) forma parte de una cadena de volcanes jóvenes de edad plio-pleistocena, que incluye al monte La Cruzada, y a los volcanes Tromen y Carrere, dispuestos en dirección NO-SE a lo largo de la Cordillera del Viento, provincia de Neuquén. El vulcanismo ha sido muy intenso al extremo NO del volcán Domuyo, disminuyendo en intensidad hacia el SE. Las principales manifestaciones geotérmicas del área se encuentran en los sectores oeste y sudoeste del volcán y se denominan: Rincón de las Papas, El Humazo, Las Olletas, La Bramadora, Aguas Calientes y Los Tachos. En casi todas ellas la actividad geotérmica se manifiesta como surgentes de agua caliente, fumarolas y gas fumarólico y fluye a través de las brechas tobáceas y coladas de lavas que cubren a las unidades mesozoicas y/o rocas del basamento.



**Figura 1:** Imagen Sentinel 2 RGB 432 del 26 de enero de 2021 donde se observa en detalle el Vn. Domuyo.

Geológicamente, está constituido por un conjunto de rocas ígneas y sedimentarias pertenecientes al relleno de la Cuenca Neuquina (Ciclo Precuyano, Grupo Cuyo y Grupo Mendoza) y su basamento (Grupo Choiyoi y Granodiorita Varvarco), que fueron invertidos y deformados en dos etapas (Cretácico Superior y Mioceno-Plioceno) e intruídos por un stock granítico. El vulcanismo Cenozoico más antiguo comienza con rocas intermedias a básicas del Mioceno (Fm. Charilehue) que fueron afectadas por el último evento de deformación tectónica. Sobre estas, y en discordancia angular, se desarrolla un profuso vulcanismo representado por un ciclo volcánico desde el Plioceno Superior hasta el Pleistoceno Superior, y que se puede dividir en un Ciclo Volcánico Inferior (Plioceno Superior a

Pleistoceno Inferior) de características calcoalcalinas y composiciones mayormente andesíticas; y un Ciclo Volcánico Superior (Pleistoceno Medio a Superior), de naturaleza calcoalcalina con alto contenido de potasio, y dominado mayormente por rocas dacíticas a riolíticas.

La evolución del Volcán Domuyo puede resumirse en 4 etapas: 1) erupción explosiva seguida por el colapso de la columna eruptiva, los flujos piroclásticos anegan los valles de la zona; 2) se inicia la construcción del complejo de domos y se re-excava parcialmente la red de drenaje; 3) colapso explosivo de uno o varios cuerpos dómicos con la formación de depósitos de bloques y cenizas encauzados; 4) etapa final de construcción del complejo de domos, con la emisión de los domos y coladas dómicas de los Cerros Domo y Covunco. Finalmente, la acción glacial y fluvial combinada termina por configurar la geología y geomorfología que se observa actualmente.

En cuanto a su morfología predominan arealmente los procesos exógenos tales como el fluvial, glaciario o remoción en masa, los que conjuntamente con el vulcanismo endógeno, caracterizan el paisaje actual. Existe una concentración de formas glaciarias en la zona occidental correspondiente a la cordillera del Viento; un paisaje volcánico que predomina en los sectores norte y este, y un control estructural que ha determinado la morfología que expone el proceso fluvial en el área centro-sur.

Según el informe inédito de septiembre de 2018 (OAVV, 2018) del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), perteneciente al Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), se observó un gran patrón de deformación sobre el volcán Domuyo, por esta razón, desde el año 2019 se realiza el monitoreo del mismo de forma periódica.

El monitoreo consta de diferentes estudios, mediante el análisis de imágenes ópticas nocturnas (ASTER) se realiza el seguimiento de anomalías térmicas y mediante la técnica DInSAR, se analiza la evolución de la deformación, utilizando pares interferométricos con distintos intervalos temporales.

En este informe se muestra la información SAR recopilada, y se describe la serie temporal de la deformación del volcán generada a partir de la técnica DInSAR.

Esta técnica permite detectar deformación superficial y analizar sus características espacio-temporales.

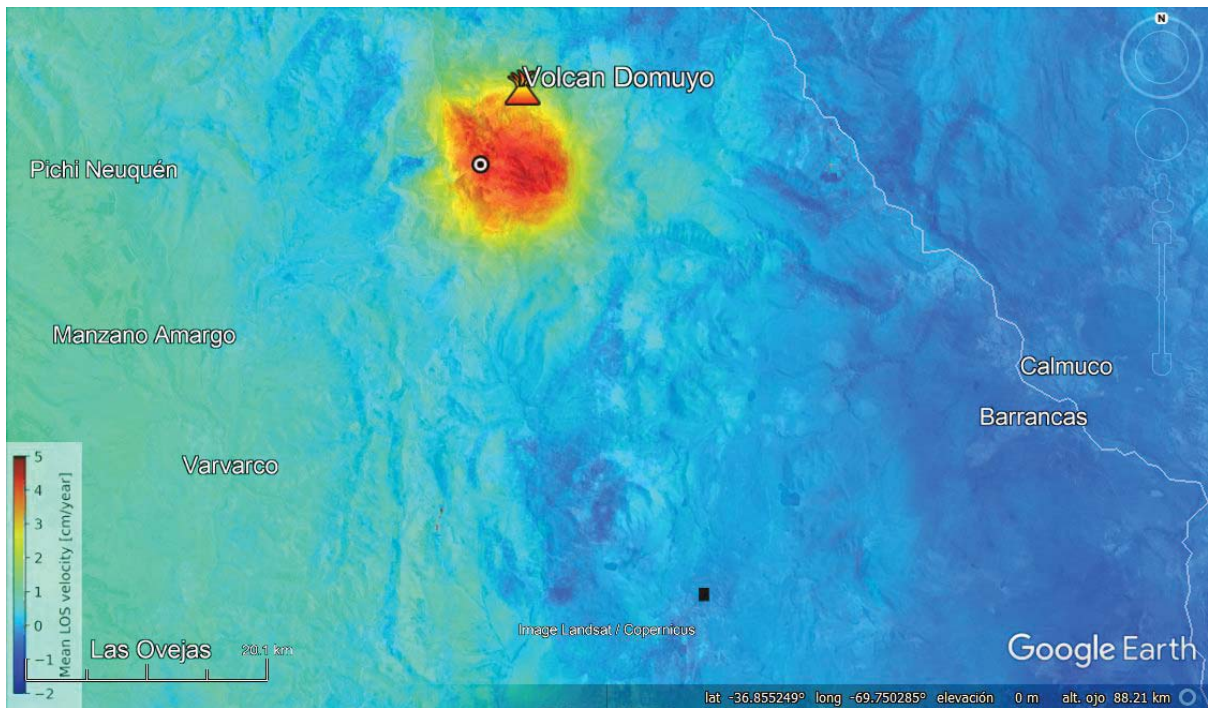
Como antecedentes se cuenta con los trabajos de Lundgren et al. (2020) quien ha analizado la deformación del volcán desde 2008 hasta el 2019 inclusive, a través de distintas fuentes SAR (ALOS, RSAT2, Sentinel-1, ALOS-2, entre otros), y Roa et al. (2021) quien ha realizado el estudio de la deformación del Domuyo con imágenes SAOCOM, desde 2019 a 2020.

## **METODOLOGÍA**

Se generó una serie de tiempo con 48 imágenes Sentinel-1 de órbita descendente aplicando la técnica DInSAR SBAS (Small BAseline Subset), a la cual se le aplicó una corrección troposférica pyaps (mediante el uso del modelo global atmosférico ERA5). Para este análisis se analizó la deformación entre el 17 de enero de 2018 y el 13 de abril de 2021, descartándose los períodos con presencia de nieve, utilizando los softwares ISCE y MintPy.

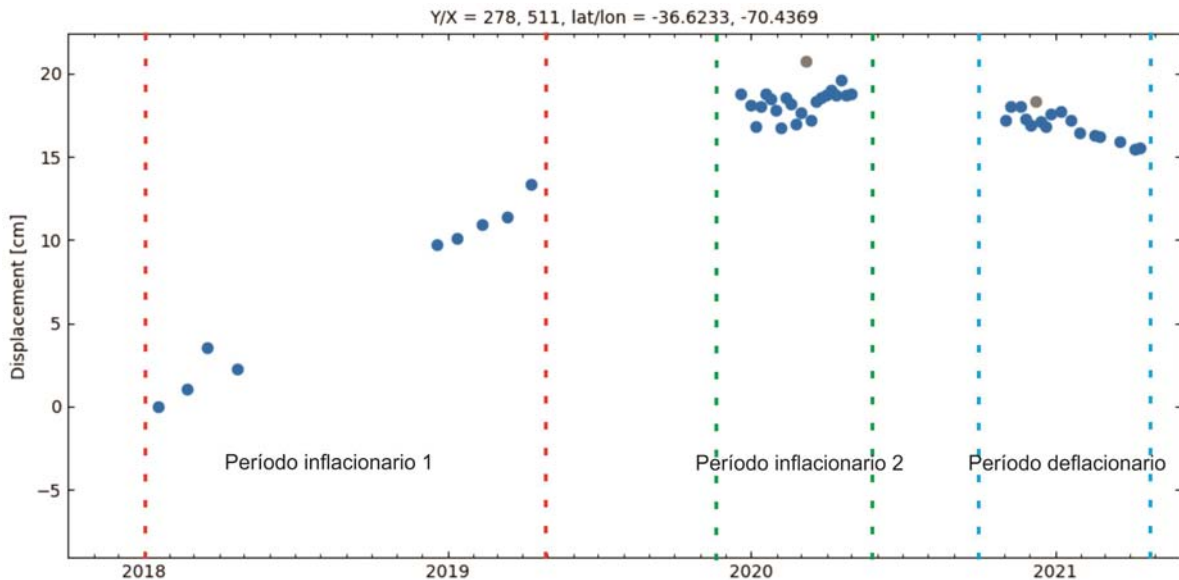
## **RESULTADOS:**

El resultado de la serie del análisis de la serie de tiempo, obtenida del procesamiento DInSAR SBAS mencionado anteriormente, muestra patrón de deformación sobre el volcán (figura 2), con los máximos valores de velocidad media de deformación de ~7 cm/año respecto a un punto de referencia ubicado en la latitud -36.953° y longitud -70.227° (cuadrado negro en la figura 2) para el período de tiempo analizado, en el centro del volcán Domuyo.



**Figura 2.** Velocidad de desplazamiento promedio en la línea de vista del sensor de un máximo de ~7 cm/año para el período analizado.

La figura 3 muestra la serie temporal de deformación DInSAR extraída de un punto de coordenadas de latitud.  $-36,6233^\circ$  / longitud  $-70,4369^\circ$  (círculo blanco en la figura 2). En la misma se puede observar la evolución de la deformación en el tiempo.



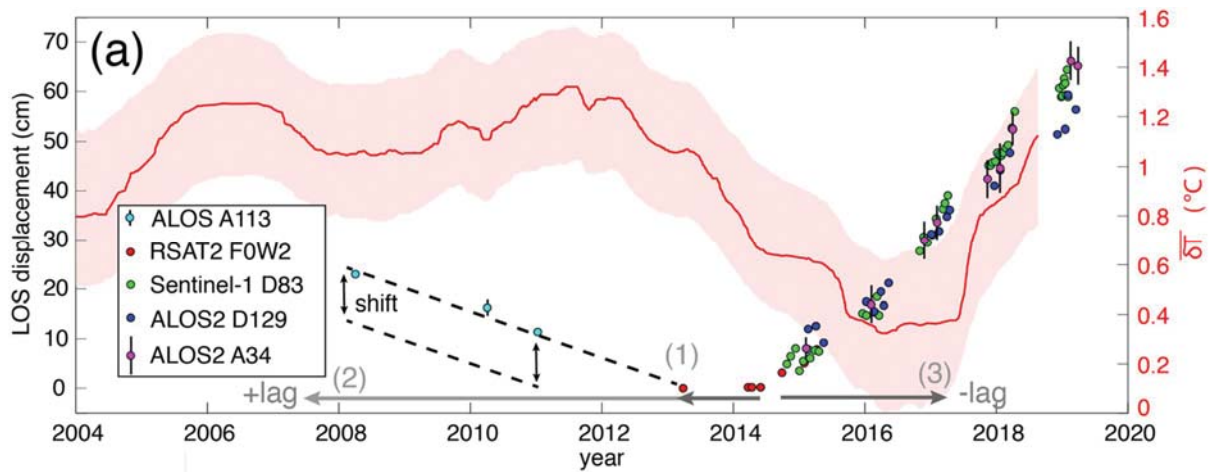
**Figura 3.** Serie de desplazamiento acumulado para el punto geográfico  $-36.6233^\circ / -70.4369^\circ$  con los distintos comportamientos del volcán en el período analizado (2018-2021).

En la figura 3 se observa ausencia de datos en los períodos con presencia de nieve (mayo-diciembre) y mayor cantidad de datos durante el periodo estival correspondiente a los años 2020 y 2021.

En primera instancia, la serie muestra un período de inflación sostenido desde el inicio de 2018 hasta finales de 2019 (Figura 3) marcado entre las líneas discontinuas de color rojo. Sin

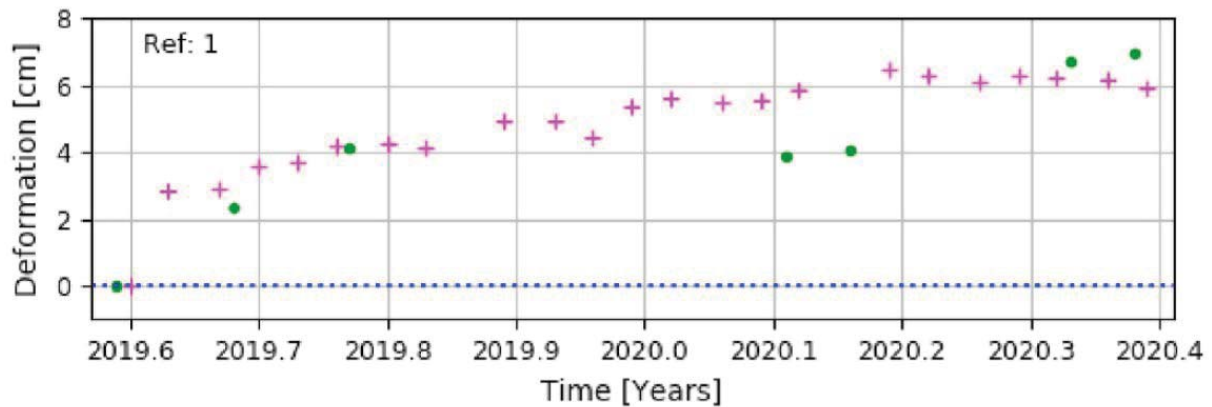
embargo, no se puede aseverar este comportamiento durante el período con presencia de nieve entre mayo-diciembre de 2018 y 2019.

Este comportamiento coincide con el último período (2014-2019) analizado en Lundgren et al. (2020), en el cual realiza una reconstrucción de una serie de tiempo a través de distintas fuentes SAR (ALOS, RSAT2, Sentinel-1, ALOS-2) (figura 4) abarcando el período 2008 hasta 2019. En este análisis, distingue, en primer lugar, una secuencia de deflación desde el inicio de la serie hasta algún momento del inicio de 2011 o 2013. Luego, identifica un período de “cero deformación” que finaliza con un cambio abrupto de la velocidad de deformación en septiembre de 2014. Desde este momento, se observa un período de inflación sostenido hasta finalizar la serie en abril 2019.



**Figura 4.** Serie de desplazamiento acumulado derivado de distintos productos SAR, ajustados manualmente a los valores de datos Radarsat 2 (ALOS A113: ALOS PALSAR 1, RSAT2 F0W2: Radarsat 2, ALOS2 D129: ALOS PALSAR 2, órbita Descendente, ALOS2 A34: ALOS PALSAR 2, órbita Ascendente).

Desde enero de 2020, se observa una disminución en la velocidad de deformación en el período comprendido hasta mayo de 2020 ubicado entre líneas punteadas color verde, (figura 3). Este comportamiento, coincide con lo observado por Roa et al. (2021), en la serie de tiempo obtenida con imágenes SAR SAOCOM, entre agosto de 2019 y mayo de 2020, donde pudieron detectar una deformación acumulada de ~6cm en el período analizado. En la serie obtenida con imágenes Sentinel-1 con mintpy, la presencia de ruido no permite estimar la cantidad de deformación acumulada en el período analizado.



**Figura 5.** Serie de desplazamiento acumulado derivado de imágenes SAOCOM banda L, entre agosto 2019 y mayo 2020.

Finalmente, a partir de noviembre de 2020 se observa un cambio en la velocidad de deformación donde comienza un período de deflación que se sostiene hasta finalizar la serie en abril de 2021 (Figura 3, línea punteada color azul). Donde se puede detectar una deformación acumulada de ~3cm a lo largo del período estudiado.

### **CONCLUSIONES**

La serie de tiempo generada, permite identificar 3 períodos con distinto comportamiento de la deformación del volcán Domuyo: período inflacionario 1, período inflacionario 2 y período deflacionario. Las 2 primeras etapas coinciden con la bibliografía y estudios previos.

El período deflacionario, marca una nueva condición en el estado de deformación del volcán que requiere de posteriores análisis en cuanto a la deformación y la observación de otros parámetros, para intentar inferir las razones de este cambio.

## **Bibliografía:**

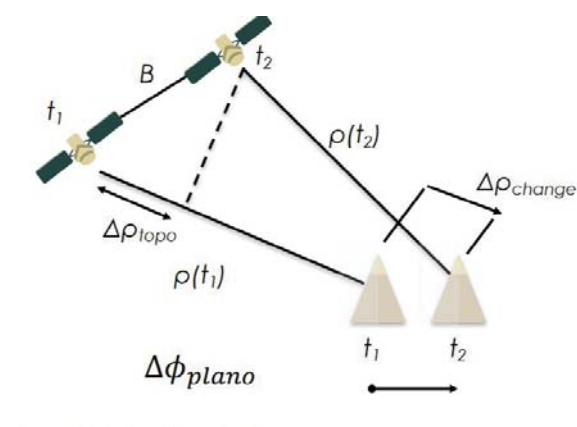
- Dvorak, J. y Dzurisin, D. (1997) *Volcano geodesy: The search for magma reservoirs and the formation of eruptive vents*, Reviews of Geophysics, vol. 35, no. 3, p. 343, 1997 en Piedra Vilches (2016).
- Massonnet, D. y Feigl, K. (1998) *Radar Interferometry and its application to changes in the Earth's 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
- Naranjo, J.A.; Gilbert, J.; Sparks, Stephen, 2008. *Geología del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 114, 32 p., mapa escala 1:50.000, Santiago
- Orozco, G.; Jara, G.; Bertin, D. 2016. *Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 28: 34p., 1 mapa escala 1:75.000, Santiago
- Piedra Vilches, J.I. (2016) *Estudio de erupciones volcánicas a través de imágenes satelitales caso de estudio: erupción volcán Puyehue, Chile*. Tesis de Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias, Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba
- 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).
- SERNAGEOMIN (2018). Complejo Volcánico Nevados del Chillán. Datos publicados en la página web.
- Tassi F., C. Liccioli, M. Agosto, G. Chiodini, O.Vaselli, S. Calabrese, G. Pecoraino, L. Tempesti, C. Caponi, J.Fiebig, S. Caliro, A. Caselli. 2016. Journal of Volcanology and Geothermal Research.328, 198-209.



## ANEXO

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 volcán.

Detalle de las imágenes utilizadas para los diferentes procesos:

### Descendentes

S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20190211T095650\_20190211T095718\_025880\_02E17F\_CC7F  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20190412T095651\_20190412T095718\_026755\_03014C\_4F6C  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20191220T095659\_20191220T095726\_030430\_037B96\_E9D3  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200101T095659\_20200101T095725\_030605\_03819F\_AB31  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200113T095658\_20200113T095725\_030780\_0387B4\_09A3  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200125T095658\_20200125T095725\_030955\_038DDD\_B029  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200206T095657\_20200206T095724\_031130\_0393F8\_368C  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200218T095657\_20200218T095724\_031305\_039A08\_1E6C  
 S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200301T095657\_20200301T095724\_031480\_03A008\_DFD8

S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200313T095657\_20200313T095724\_031655\_03A61A\_B96B  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200325T095657\_20200325T095724\_031830\_03AC4B\_90AE  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200406T095657\_20200406T095724\_032005\_03B26F\_D3BD  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200418T095658\_20200418T095725\_032180\_03B89C\_3CE2  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200430T095659\_20200430T095726\_032355\_03BEBD\_FD2A  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201108T095707\_20201108T095734\_035155\_041A7F\_DEDA  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201120T095706\_20201120T095733\_035330\_04209B\_28D0  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201202T095706\_20201202T095733\_035505\_0426AE\_E57F  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201214T095706\_20201214T095733\_035680\_042CAB\_B630  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201226T095705\_20201226T095732\_035855\_0432BC\_3832  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210107T095704\_20210107T095731\_036030\_0438CD\_BEF6  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210119T095704\_20210119T095731\_036205\_043EF5\_B914  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210131T095704\_20210131T095730\_036380\_044504\_B75B  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210224T095703\_20210224T095730\_036730\_045132\_E186  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210320T095703\_20210320T095730\_037080\_045D68\_813E  
S1A\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210413T095704\_20210413T095731\_037430\_04697E\_7F37  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20180117T095607\_20180117T095634\_009209\_0107FC\_B745  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20180222T095606\_20180222T095633\_009734\_01193C\_3E36  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20180318T095606\_20180318T095633\_010084\_0124CE\_7A20  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20180423T095607\_20180423T095634\_010609\_0135C3\_E636  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20181219T095615\_20181219T095642\_014109\_01A35D\_E5FE  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20190112T095614\_20190112T095641\_014459\_01AECC\_9EDA  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20190313T095613\_20190313T095640\_015334\_01CB57\_CC7C  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200107T095610\_20200107T095637\_019709\_025436\_27D8  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200119T095610\_20200119T095637\_019884\_0259C9\_AF76  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200131T095609\_20200131T095636\_020059\_025F66\_C07E  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200212T095609\_20200212T095636\_020234\_026510\_7DF7  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200224T095609\_20200224T095636\_020409\_026AB3\_8115  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200307T095609\_20200307T095636\_020584\_027042\_AEC3  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200319T095609\_20200319T095636\_020759\_0275D0\_9EE7  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200331T095609\_20200331T095636\_020934\_027B56\_1F95  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200412T095609\_20200412T095636\_021109\_0280E3\_59B9  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20200424T095610\_20200424T095637\_021284\_028668\_9BCC  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201102T095618\_20201102T095645\_024084\_02DC8B\_2C4B  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201126T095618\_20201126T095645\_024434\_02E78B\_E025  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201208T095617\_20201208T095644\_024609\_02ED25\_C3F3  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20201220T095617\_20201220T095644\_024784\_02F2D7\_EF04  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210218T095611\_20210218T095641\_025659\_030F07\_739C  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210407T095615\_20210407T095642\_026359\_03258E\_11FC  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210302T095614\_20210302T095641\_025834\_0314C2\_AEA8  
S1B\_IW\_SLC\_\_1SDV\_20210326T095615\_20210326T095642\_026184\_032000\_OFEC