



## GENERACIÓN DE SERIES TEMPORALES DE DEFORMACIÓN A PARTIR DE IMÁGENES DE RADAR DE APERTURA SINTÉTICA EN EL GLACIAR VIEDMA

Natalia Riveros<sup>1</sup>, Leonardo D. Euillades<sup>1,2</sup>, Pablo A. Euillades<sup>1,2</sup> y Sebastián Balbarani<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, cc 405, Centro Universitario, (M5502JMA) Ciudad de Mendoza, Mendoza, Argentina; ncriveros@gmail.com.

<sup>2</sup>CONICET

Las imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR) han sido utilizadas satisfactoriamente para el estudio de hielos y glaciares aplicando la técnica Interferometría Diferencial (DInSAR) (Bamler y Hartl 1998, Rosen *et al.* 2000) que permite generar mapas de desplazamiento con una precisión sub-centimétrica. La aplicación de esta técnica se ve limitada por el ruido de fase, principalmente producto de la decorrelación temporal. Un parámetro que se utiliza usualmente para caracterizar el ruido de fase es la coherencia interferométrica. En la superficie del glaciar, la coherencia se ve afectada por las condiciones climáticas y por las características del flujo y se relaciona claramente con la diferencia de tiempo entre las adquisiciones utilizadas para calcular los interferogramas. Una de las causas de la decorrelación temporal es el propio movimiento del glaciar, que produce cambios rápidos y bruscos entre píxeles vecinos. En este contexto, es que el uso de técnicas tales como *Offset Tracking* aplicadas a imágenes SAR representan una alternativa a DInSAR para inferir campos de velocidades del flujo glaciar en forma satisfactoria sin necesidad de mediciones in-situ (estacas o GPS) (Gray *et al.* 1998, Michel y Rignot 1998, Strozzi *et al.* 2002, Ciappa *et al.* 2010, Derauw 1999, Riveros *et al.* 2013). Estas técnicas utilizan la información de amplitud de la señal de las imágenes SAR, por lo que no existe la necesidad de desenrollar la fase, siendo éste uno de los pasos más críticos de la técnica InSAR/DInSAR en la estimación de desplazamientos y/o velocidades. Otra ventaja de la metodología *Offset Tracking* es que permite estimar desplazamientos en la dirección del vuelo del radar (acimut).

Una extensión de la técnica *Offset Tracking*, denominada Pixel Offset Small Baseline Subsets (PO-SBAS) (Casu *et al.* 2011), permite combinar los mapas de desplazamiento obtenidos con dicha metodología. La aplicación de PO-SBAS permite determinar el comportamiento de la zona de interés a lo largo de un período extenso de tiempo mediante la construcción de series temporales a partir de la estimación de mapas de desplazamiento (en rango y acimut) y la posterior inversión numérica del sistema de ecuaciones conformado para tal fin mediante la utilización de la técnica de Descomposición en Valores Singulares (SVD). Esta técnica ha sido exitosamente aplicada al monitoreo de volcanes activos, donde los desplazamientos ocurridos son mucho menores a los esperados en glaciares (Casu *et al.* 2011). El problema aquí es que el cuerpo de hielo varía significativa y rápidamente a lo largo del tiempo, lo que limita la posibilidad de combinación de imágenes. Esta característica particular hace que sea necesario, partiendo de la base de la técnica PO-SBAS, una reformulación de la metodología para determinar la mejor estrategia de combinación de imágenes orientada a la caracterización ya no de los desplazamientos ocurridos sobre el glaciar, sino de la velocidad de desplazamiento de las distintas porciones del cuerpo de hielo.

El área piloto utilizada comprende al Glaciar Viedma, el más grande de la Argentina con una superficie de 978 km<sup>2</sup> (Skvarca *et al.* 1995), y el menos estudiado del Hielo Patagónico Sur. Está ubicado en la provincia de Santa Cruz, Argentina (49°31' S, 72°59' W). El frente de dicha masa de hielo termina en el lago homónimo, fuente de agua fresca muy importante para la zona semi árida de la Patagonia. El conocimiento sobre el comportamiento de este glaciar es incompleto, sólo existen estudios sobre el comportamiento del frente de la lengua glaciar (Skvarca *et al.* 1995, Aniya *et al.* 1998, Lopez *et al.* 2010) y estimación de velocidades diarias con SAR sobre toda la superficie del glaciar (Riveros *et al.* 2013).

En este trabajo se ha utilizado la información de amplitud de un dataset de imágenes SAR Cosmo SkyMed del Glaciar Viedma, adquiridas entre los meses de Abril de 2012 y Enero de 2013, para generar mapas de desplazamiento en rango y acimut (Figura 1). La combinación de imágenes ha sido en función de la velocidad de desplazamiento esperada, pudiendo formar pares de 1, ~15 y ~30 días en su modo ascendente y descendente. Para los casos con separación temporal mayor a 1 día (tándem), la definición de los parámetros de procesamiento de *Offset-Tracking* va a depender fundamentalmente de las características del fenómeno físico a estudiar y, en nuestro caso particular, de la separación temporal entre imágenes. Para resolver los casos no tándem, se han establecido valores de parámetros de manera de atenuar el ruido de la solución optimizando, a la vez, los tiempos de procesamiento. En la Figura 1 se puede observar dicha variación en los parámetros utilizados debido a la deformación esperada entre las adquisiciones, variando según la separación temporal de cada par.

En este trabajo se muestran los resultados preliminares para la determinación de velocidades de flujo sobre hielo utilizando imágenes de radar de alta resolución.

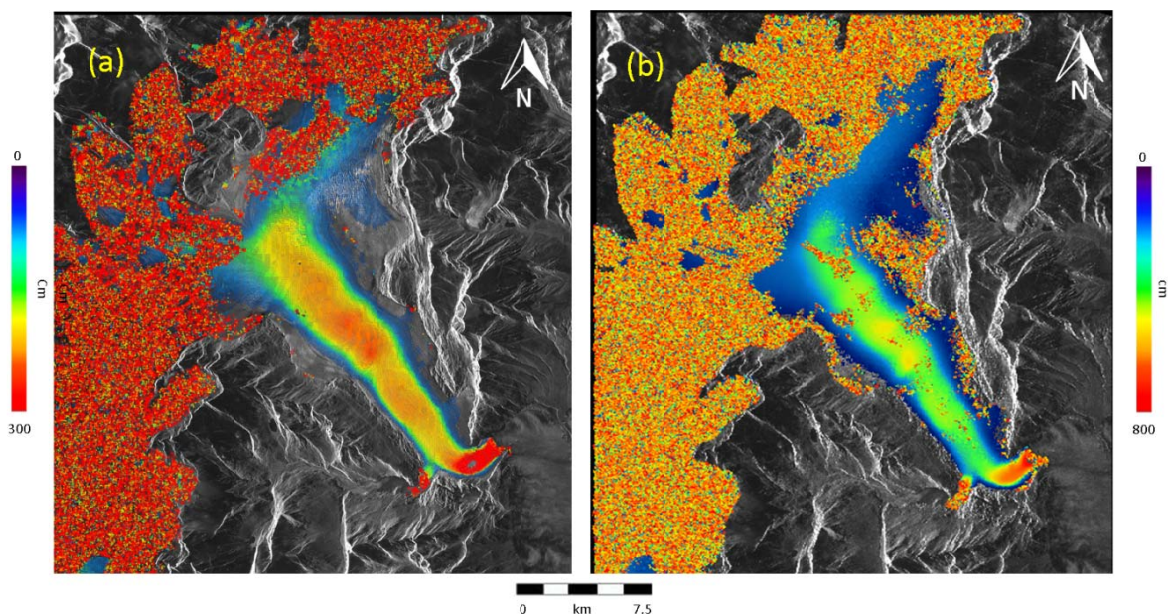


Figura 1. Mapa de deformación del glaciar ocurrida entre las fechas: (a): 8/12/2012-25/12/2012 (Ventana de referencia: 128x128; ventana de búsqueda: 16 y frecuencia de muestreo: 4); y (b): 15/05/2012-16/06/2012. (Ventana de referencia: 50X50; ventana de búsqueda: 32 y frecuencia de muestreo: 2). Nota: Se han utilizado diferentes escalas debido a la gran variación de la deformación ocurrida entre ambos pares de imágenes.

- Aniya, M., Naruse, R., Casassa, G. y Rivera, A. 1998. Variations of Patagonian Glaciers, South America, Utilizing RADARSAT Images. In Proceedings of the International Symposium on RADARSAT Application Development and Research Opportunity (ADRO), Montreal, Canada, 13–15.
- Bamler, R. y Hartl, P. 1998. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Inverse Problems* 14 (4): R1.
- Casu, F., Manconi, A., Pepe, A. y Lanari, R. 2011. Deformation Time-Series Generation in Areas Characterized by Large Displacement Dynamics: The SAR Amplitude Pixel-Offset SBAS Technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 49 (7): 2752–63.
- Ciappa, A., Pietranera, L. y Battazza, F. 2010. Perito Moreno Glacier (Argentina) Flow Estimation by COSMO SkyMed Sequence of High-resolution SAR-X Imagery. *Remote Sensing of Environment* 114 (9): 2088–96.
- Derauw, D. 1999. DInSAR and Coherence Tracking Applied to Glaciology: The Example of Shirase Glacier. In FRINGE99 Workshop.
- Gray, A. L., Mattar, K.E., Vachon, P.W., Bindschadler, R., Jezek, K.C., Forster, R. y Crawford, J. P. 1998. InSAR Results from the RADARSAT Antarctic Mapping Mission Data: Estimation of Glacier Motion Using a Simple Registration Procedure. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 1998. IGARSS'98. 1998 IEEE International*, 3:1638–40.
- López, P., Chevallier, P., Favier, V., Pouyaud, B., Ordenes, F. y Oerlemans, J. 2010. A Regional View of Fluctuations in Glacier Length in Southern South America. *Global and Planetary Change* 71 (1-2): 85–108.
- Michel, R., y Rignot, E. 1998. Flow of Moreno Glacier, Argentina, from Repeat-pass Shuttle Imaging Radar Images: Comparison of the Phase Correlation Method with Radar Interferometry. *Journal of Glaciology*.
- Riveros, N., Euillades, L., Euillades, P., Moreiras, S. y Balbarani, S. 2013. Offset Tracking Procedure Applied to High Resolution SAR Data on Viedma Glacier, Patagonian Andes, Argentina. *Advances in Geosciences* 35: 7–13.
- Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Fuk, K. L., Madsen, S.N., Rodriguez, E. y Goldstein, R.M. 2000. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Proceedings of the IEEE* 88 (3): 333–82.
- Skvarca, P., Rott, H. y Stuefer, M. 1995. Synergy of ERS-1 SAR, X-SAR, LANDSAT TM Imagery and Aerial Photographic for Glaciological Studies of Viedma Glacier, Southern Patagonia. In *Memorias SELPER*, 674–82. Puerto Vallarta, México.
- Strozzi, T., Gudmundsson, G.H. y Wegmüller, U. 2002. Estimation of the Surface Displacement of Swiss Alpine Glaciers Using Satellite Radar Interferometry. In *Proceedings, EARSeL-SIG-Land Ice and Snow Workshop*, Berne, Switzerland, Im Druck.