



## **I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA**

### **DINÁMICA DEL RÉGIMEN NIVAL EN LA CORDILLERA DE LOS ANDES: ESTUDIO DE EVENTOS DE LLUVIA SOBRE NIEVE**

**DIEGO OCAMPO MELGAR<sup>1</sup>  
FRANCISCO MEZA<sup>2</sup>**

#### **RESUMEN EXTENDIDO**

Las precipitaciones para la región central de Chile se dan en invierno (junio, julio y agosto) de forma transversal a la cordillera como tormentas frontales. Estas precipitaciones permiten la acumulación de nieve sobre la cordillera de los Andes, que a su vez determina el régimen pluvio-nival característico de la región central de Chile y la disponibilidad de agua durante el verano.

La zona de transición (altitudinal) entre nieve y lluvia es sensible a cambios de temperatura, humedad, intensidad de lluvia o viento, alterando el régimen y fase de precipitación, pudiendo causar eventos de Lluvia sobre Nieve (ROS), donde la cubierta de nieve es modificada por una precipitación líquida, y reduciendo el almacenamiento de agua. Estos eventos alteran la cobertura de nieve existente y el régimen hídrico local, modificando las propiedades de la nieve. Una de estas modificaciones es la disminución de la reflectividad de la nieve en el espectro infrarrojo, causado por el aumento del tamaño de grano, resultado de los procesos de derretimiento y re congelamiento. Este aumento de grano es observado en condiciones naturales de envejecimiento de la nieve, pero eventos de lluvia pueden acelerar drásticamente el proceso. Se estima que la frecuencia de eventos de lluvia sobre nieve puede aumentar en el futuro, por lo que es importante estudiar su incidencia sobre el régimen pluvio-nival.

La presente investigación propone una metodología para el seguimiento del proceso de acumulación de nieve en la región central de la cordillera Central de Chile, a través del estudio de la reflectividad en el infrarrojo cercano como posible efecto de eventos ROS. La metodología analiza 15 años de imágenes MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) para la región central de la cordillera, utilizando algoritmos de NDSI (Normalized Difference Snow Index), y criterios corrección como el MB3U, para analizar la

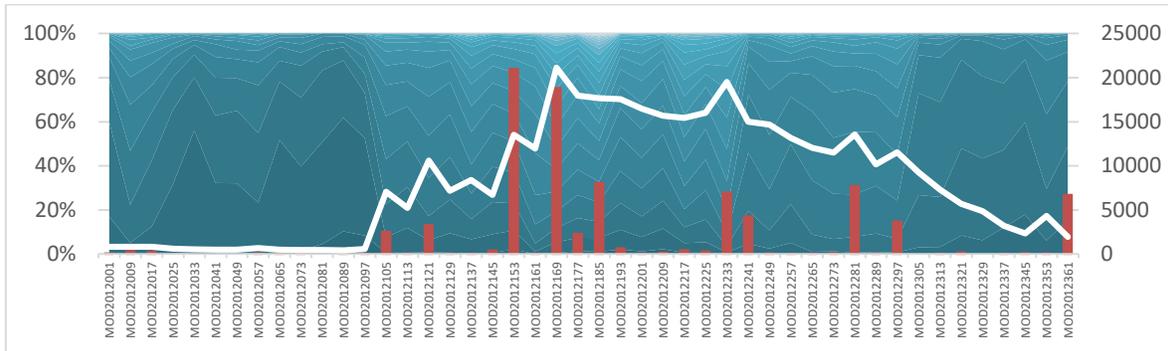
---

<sup>1</sup> Estudiante de Magister, Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile

<sup>2</sup> Profesor guía, Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile

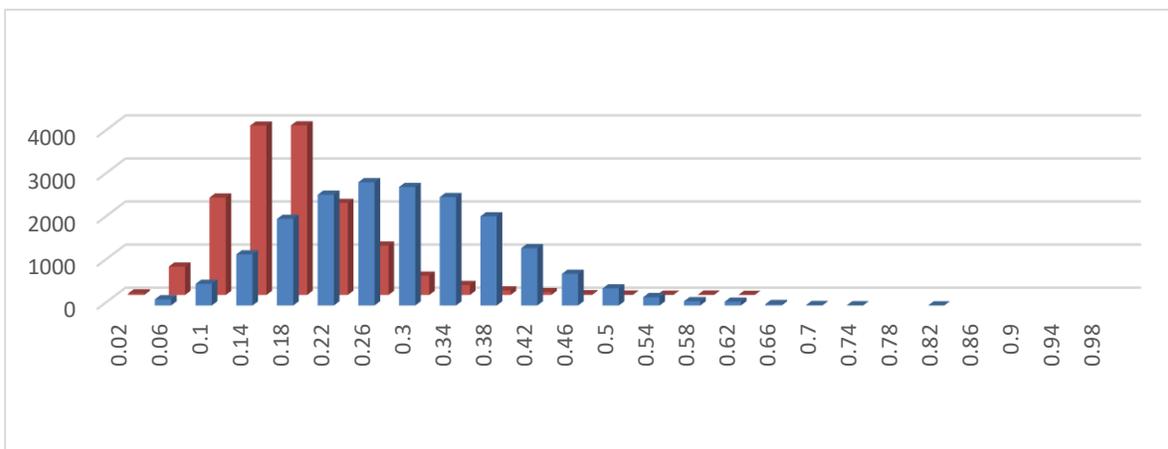


reflectividad del producto MOD09A1, y su distribución, junto con variables climáticas. Generando una máscara para los pixeles identificados como nieve ( $NDSI > 0.4$ ), con reflectividad suficiente ( $Banda\ 4 > 0.1$ ) y con cobertura de nieve mayor al 66% ( $MB3U > 0.66$ ), que es utilizada para extraer los pixeles de la banda 5 (entre 1230–1250 nm), donde la reflectividad es más sensible al tamaño de grano.



**Figura 1:** distribución porcentual de la reflectividad de la nieve en la cuenca del río Maipo (2012) y extensión de la cubierta. En azul se puede observar la distribución porcentual de la reflectividad de cada imagen, mientras que en blanco se observa el número de pixeles clasificados como nieve y en naranja la cantidad de precipitación.

Resultados iniciales muestran que la metodología permite identificar los pixeles con fracción de cobertura de nieve acumulada en el área de estudio y su distribución de reflectividad indicando el estado de envejecimiento, ya sea por condiciones naturales o por derretimiento rápido. Para las imágenes en las que ocurrió precipitación, la distribución esperada para la nieve después de una nevada, tiene una forma normal por aumento de número de pixeles y reflectividad. Sin embargo, se encontró que en algunos casos la distribución resultante tiene una distribución aplanada y asimétrica a la izquierda, por la reducción en extensión y/o reflectividad.





**Figura 2:** distribución de la reflectividad de la nieve en la cuenca del río Maipo para un posible evento (20-28 de agosto, 2012). En azul se puede observar la distribución de la reflectividad de la nieve para el 20 de agosto, después de una precipitación. En naranja se muestra una distribución diferente, ocho días después, modificada por otra precipitación.

Esta segunda distribución más aplanada y asimétrica sugiere la posibilidad de una precipitación líquida sobre la nieve y su modificación sobre la reflectividad en el espectro infrarrojo cercano. Al analizar estos eventos junto con la precipitación, temperatura y caudal de ríos afectados, esta metodología ha mostrado ser útil para describir el proceso de acumulación de nieve durante en invierno, y puede ser usado para observar y discernir el derretimiento natural y posibles eventos de lluvia sobre nieve. Es necesario continuar con este trabajo para entender mejor las diferentes distribuciones de la reflectividad e identificar tendencias en la ocurrencia de estos eventos.

### **Agradecimientos**

Los autores de este trabajo agradecen a la International Water Security Network y Lloyd's Register Foundation por el apoyo y financiamiento para esta investigación.

### **Referencias**

- Cohen, J., Ye, H., & Jones, J. (2015). Trends and variability in rain-on-snow events. *Geophysical Research Letters*, 7115–7122. <http://doi.org/10.1002/2015GL065320>. Received
- Masiokas, M. H., Villalba, R., Luckman, B. H., Le Quesne, C., & Aravena, J. C. (2006). Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile , 1951 – 2005 : Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region. *Journal of Climate*, 19, 6334–6352. <http://doi.org/10.1175/JCLI3969.1>
- Salomonson, V. ., & Appel, I. (2004). Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of Environment*, 89(3), 351–360. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.016>
- Surfleet, C. G., & Tullos, D. (2013). Variability in effect of climate change on rain-on-snow peak flow events in a temperate climate. *Journal of Hydrology*, 479, 24–34. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.021>
- Warren, S. G. (1982). Optical properties of snow. *Reviews of Geophysics*. <http://doi.org/10.1029/RG020i001p00067>
- World Meteorological Organization (WMO). (2012). Review on remote sensing of the snow cover and on methods of mapping snow. *14th Session of the WMO Commission for Hydrology*, CHy-14(1985), 26 p. Retrieved from [http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/chy/chy14/documents/ms/remote\\_sensing\\_snow\\_cover\\_methods\\_mapping\\_snow.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/chy/chy14/documents/ms/remote_sensing_snow_cover_methods_mapping_snow.pdf)