

Desarrollo de productos para el monitoreo de la superficie cubierta por nieve a partir del sensor MODIS

Nota Técnica SMN 2026-2014

Silvana Carina Bolzi¹, Cam Cordoba Fradinger¹, Sol Rossi Lopardo²

¹ Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

² Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA)

Julio 2026



**Ministerio
de Defensa**
República Argentina

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

El monitoreo de la superficie cubierta por nieve es esencial para los estudios hidrológicos y climáticos, donde el deshielo estacional contribuye significativamente al caudal fluvial. Esta nota técnica aborda el desarrollo de diferentes productos que contribuyen al monitoreo de la cobertura nival a lo largo de las provincias cordilleranas, incluyendo la superficie extra andina (llanuras, valles y meseta patagónica), para no excluir de las estadísticas las nevadas extraordinarias. Los productos incluyen tanto imágenes satelitales que permiten una visualización rápida de las áreas nevadas, como estimaciones del porcentaje de la extensión de la superficie cubierta por nieve. Los productos contribuyen a mejorar las técnicas de monitoreo de nieve en regiones con escasez de datos in-situ. Se utilizan productos de resolución diaria del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS, por sus siglas en inglés) durante el período frío.

Abstract

Monitoring snow cover is essential for hydrological and climatological studies, where seasonal snowmelt significantly contributes to river flow. This technical note addresses the development of various products that contribute to snow cover monitoring across the Andean provinces, including the extra-Andean region (plains, valleys, and the Patagonian plateau), to ensure that extraordinary snowfalls are not excluded from the statistics. The products include both satellite imagery, which allows for rapid visualization of snow covered areas, and estimates of the percentage of snow cover. These products contribute to improving snow monitoring techniques in regions with limited in-situ data. Daily resolution products from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) are used during the cold period.

Palabras clave: superficie cubierta por nieve, teledetección, snow cover

Citar como:

Bolzi, S. C., Córdoba Fradinger, C., Rossi Lopardo, S. 2026: Desarrollo de productos para el monitoreo de la superficie cubierta por nieve a partir del sensor MODIS. Nota Técnica SMN 2026-214.

1. INTRODUCCIÓN

La cubierta de nieve ejerce una gran influencia sobre el ciclo hidrológico durante el invierno y la primavera en gran parte de la superficie terrestre (Dozier y otros, 2008). La nieve acumulada constituye la principal fuente de agua de los ríos que dependen del deshielo estacional y, por lo tanto, representa un recurso fundamental para el consumo doméstico local, el riego, la industria y la generación hidroeléctrica.

En la Cordillera de los Andes, la nieve también tiene un impacto económico significativo sobre las diferentes actividades, entre ellas, el transporte terrestre, el comercio y el turismo invernal. Por este motivo, el análisis de las variaciones espaciales y temporales de la superficie cubierta por nieve, así como su relación con las características atmosféricas a gran escala, reviste una importancia socioeconómica clave para el desarrollo de estrategias de gestión del agua y para la elaboración de pronósticos estacionales de nieve y deshielo para la región (Masiokas et al., 2006). El monitoreo de la capa de nieve es muy importante a escala local, regional y global, así como para aplicaciones climáticas e hidrológicas. Para nuestra región, tiene una relevancia particular en zonas con marcada dependencia del aporte nival.

El monitoreo diario de la capa de nieve requiere información continua tanto espacial como temporal, que contribuya a representar adecuadamente la variabilidad de la cobertura nival. Las estaciones pertenecientes a la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), registran variables relacionadas con la nieve, tales como altura de la nieve, equivalente en agua de la nieve caída (EAN) y estado del suelo (Flores et al., 2024). Asimismo, existen redes de otros organismos, como la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC - <https://www.aic.gob.ar/>) y el Sistema Nacional de Información Hídrica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos (<https://snih.hidricosargentina.gob.ar/>), y el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA - <https://observatorioandino.com/estaciones/>), que realizan mediciones vinculadas con la acumulación, el derretimiento de nieve y el EAN. Si bien estas redes proveen información meteorológica diaria, muy pocas registran el dato de nieve, lo que dificulta caracterizar adecuadamente las condiciones a lo largo de la extensa Cordillera de los Andes y sectores extra andinos (Figura 1). La red del SMN tiene estaciones que informan, siempre que ocurra el fenómeno, la altura de nieve (Red SMN a) y otras que informan esporádicamente (Red SMN b).

En este contexto, los sensores remotos constituyen una herramienta que contribuyen a la observación diaria de las variaciones de la cobertura nival, permitiendo generar productos espaciales a distintas escalas, por ejemplo por área de cuencas, provincias o a nivel nacional. Entre los sensores remotos utilizados para este tipo de aplicaciones, MODIS ha sido ampliamente utilizado debido a su cobertura espacial, resolución temporal diaria y la disponibilidad de datos desde el año 2000. Sin embargo, se han observado limitaciones en la calidad de la información durante la época invernal (junio, julio y agosto), especialmente en latitudes altas del sur de Argentina (entre 41°S y 60°S), asociados a datos faltantes o erróneos (Bolzi et al 2025).

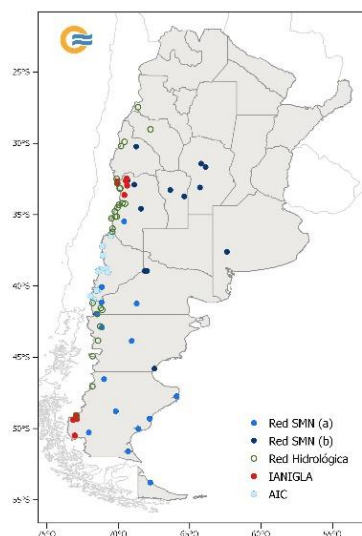


Figura 1: Red de estaciones de superficie del territorio continental Argentino, pertenecientes al SMN y a terceros, que proveen datos de nieve.

El SMN desarrolló una serie de productos destinados al monitoreo satelital de la cobertura nival en la Cordillera de los Andes y regiones adyacentes de Argentina. Estos productos surgieron como una herramienta complementaria a las observaciones de las estaciones meteorológicas, con el propósito de aportar información espacial continua de la distribución y evolución de la nieve en áreas donde la disponibilidad de mediciones en superficie resulta limitada.

El objetivo principal de los productos desarrollados consiste en analizar la evolución mensual y estacional (período frío) de la cobertura nival desde el 2000 a la actualidad, a partir de la información provista por el sensor MODIS a bordo del satélite Terra. Para ello, se implementó una metodología semi-automática en Google Earth Engine (GEE) desarrollada en JavaScript, que permite procesar imágenes satelitales, generar mapas de cobertura nival y cuantificar la superficie cubierta por nieve en distintas unidades espaciales de análisis (Cara et al 2016). Estos productos pretenden contribuir al conocimiento del ciclo hidrológico andino, aportar información para la verificación de pronósticos, para el manejo sustentable de los recursos hídricos y fortalecer las capacidades técnicas de monitoreo de nieve en regiones de Argentina con escasez de datos in-situ.

2. DATOS

En este trabajo se utilizaron las reflectancia de la superficie proveniente del sensor MODIS a bordo del satélite Terra, el cual opera y registra información desde el año 2000. En particular, se empleó el producto MOD09GA, correspondiente a la reflectancia superficial diaria con cobertura global. Este producto posee un nivel 2 de procesamiento y se distribuye en una cuadrícula con una proyección sinusoidal y una resolución espacial de 500 m para las bandas utilizadas. A partir de las reflectancias diarias del producto MOD09GA se calcula el índice normalizado de diferencia de nieve o "Normalized Difference Snow Index" (NDSI, por sus siglas en inglés). Este índice se basa en destacar el contraste espectral de la nieve, la cual presenta alta reflectancia en el espectro visible (VIS, banda 4), y fuerte absorción, o baja reflectancia, en el infrarrojo de onda corta (SWIR, banda 6), (Tabla I). El NDSI constituye, además, una de las principales entradas para la generación del producto MOD10A1, correspondiente a la cobertura de nieve diaria a nivel global, de nivel 3 de procesamiento, con una resolución espacial de 500 m (Hall, D. K. and G. A. Riggs. 2016).

Los dataset se encuentran documentados en https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD09GA?hl=es-419 y https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD10A1.

Tabla I: Bandas utilizadas del producto MODIS MOD09GA.

Nombre	Tamaño del pixel	Longitud de onda	Descripción
sur_refl_b04 (VIS)	500 metros	545-565 nm	Banda 4 : reflectancia de la superficie de la región del verde (visible) del espectro electromagnético
sur_refl_b06 (SWIR)	500metros	1628-1652 nm	Banda 6 : reflectancia de la superficie del infrarrojo de onda corta del espectro electromagnético

Para la estimación de la superficie cubierta por nieve a escala provincial, se utilizaron capas vectoriales oficiales del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La superficie total de cada provincia cordillerana procesada fue extraída del informe de superficies de Argentina, publicado por el IGN (https://www.ign.gob.ar/descargas/geoespacial/Informe_superficies_de_Argentina.pdf), mientras que las capas de información geoespacial utilizadas para la estimación de la superficie cubierta por nieve para cada provincia, corresponden también a información oficial del mismo organismo (<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>).

3. METODOLOGÍA

El desarrollo de los productos para el monitoreo de la superficie cubierta por nieve y la estimación del porcentaje de la cobertura nival se realizó en Google Earth Engine (GEE). Esta plataforma permite el análisis geoespacial a gran escala mediante el acceso a un catálogo de imágenes satelitales y conjuntos de datos geoespaciales, junto con capacidades de procesamiento en la nube. El entorno de desarrollo de GEE, basado en el código JavaScript, facilita la creación de rutinas de procesamiento, la visualización interactiva de resultados y la exportación de datos y productos derivados (<https://developers.google.com/earth-engine?hl=es-419>).

El procesamiento del producto, como se mencionó anteriormente, se basa en el cálculo del índice NDSI, a partir de las reflectancias diarias de MODIS provenientes del producto MOD09GA (ver tabla I), para cada provincia analizada (tabla II). El script permite definir un periodo de interés mediante una fecha de inicio y una fecha de fin y a partir de las imágenes diarias disponibles se calcula el valor medio mensual del NDSI. Adicionalmente, se generan composiciones RGB en falso color, con el objetivo de realizar una verificación visual de los resultados mensuales obtenidos.

Tabla II: Superficie en Km² de las provincias argentinas procesadas a la fecha.

Provincia	Superficie Km ²
San Juan	88.296,2
Mendoza	149.069,2
Neuquén	94.422
Río Negro	202.168,6
Chubut	224.302,3
Santa Cruz	244.457,5
Tierra del Fuego	20.698

Con el fin de reducir errores de clasificación y evitar falsos positivos de nieve, se aplican controles de calidad sobre las imágenes originales. Para ello, se utiliza la banda Quality Control de 500 m de resolución espacial, denominada QC_500m, incluida en el producto MOD09GA. Esta banda contiene información codificada en bits que permite identificar la confiabilidad de cada píxel para las distintas bandas espectrales. De esta manera, quedan enmascarados los píxeles que no cumplen con los criterios de calidad definidos y se conservan únicamente los píxeles considerados confiables, siendo los píxeles de calidad más alta para los bits 14-17, indicadores de calidad del VIS, y bits 22-23 que corresponden al SWIR (Tabla III).

Tabla III: Máscara de bits para la banda de control de calidad (QC_500m).

Máscara de bits de la banda QC_500m	
Bits 14 a 17: Calidad de los datos de la banda 4 (VIS)	0: Calidad más alta 7: Detector ruidoso 8: Detector inactivo, datos interpolados en L1B 9: Ángulo cenital solar >=86 grados 10: Ángulo cenital solar >=85 y <86 grados 11: Falta entrada 12: Constante interna que se usa en lugar de los datos climatológicos para al menos una constante atmosférica 13: Corrección fuera de los límites, píxel restringido al valor extremo permitido 14: Datos de L1B con errores 15: Sin procesar debido a la profundidad del océano o a las nubes
Bits 18 a 21: Calidad de los datos de la banda 5, rango de cuatro bits	0: Calidad más alta 7: Detector ruidoso 8: Detector inactivo, datos interpolados en L1B 9: Ángulo cenital solar >=86 grados 10: Ángulo cenital solar >=85 y <86 grados 11: Falta entrada 12: Constante interna que se usa en lugar de los datos climatológicos para al menos una constante atmosférica 13: Corrección fuera de los límites, píxel restringido al valor extremo permitido 14: Datos de L1B con errores 15: Sin procesar debido a la profundidad del océano o a las nubes

Bits 22 a 25: Calidad de los datos de la banda 6 (SWIR)	0: Calidad más alta 7: Detector ruidoso 8: Detector inactivo, datos interpolados en L1B 9: Ángulo cenital solar ≥ 86 grados 10: Ángulo cenital solar ≥ 85 y < 86 grados 11: Falta entrada 12: Constante interna que se usa en lugar de los datos climatológicos para al menos una constante atmosférica 13: Corrección fuera de los límites, píxel restringido al valor extremo permitido 14: Datos de L1B con errores 15: Sin procesar debido a la profundidad del océano o a las nubes
---	---

Adicionalmente, se aplica una máscara de cuerpos de agua utilizando el producto MOD44W de MODIS (https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/MODIS_MOD44W_MOD44W_005_2000_02_24?hl=es-419). Esto se debe a que los cuerpos de agua, en determinadas condiciones, pueden generar falsos positivos en el cálculo del índice NDSI. Tanto el agua como la nieve presentan baja reflectancia en el infrarrojo de onda corta, diferenciándose principalmente en su comportamiento en el VIS, donde la nieve refleja fuertemente y el agua tiende a absorber. No obstante, la presencia de sedimentos en cuerpos de agua puede modificar esta respuesta espectral.

Una vez aplicadas las máscaras de calidad y de cuerpos de agua se calcula el índice NDSI y se obtienen los valores medios mensuales correspondientes. Las imágenes resultantes se transforman posteriormente en imágenes binarias, en las cuales los píxeles clasificados como nieve reciben el valor 1 y el resto de los píxeles 0. A partir de esta clasificación binaria, se estima la superficie cubierta por nieve mediante funciones de reducción espacial disponibles en GEE. Para ello, se contabilizan los píxeles con valor 1 dentro de cada unidad espacial de análisis y se calcula el área correspondiente en kilómetros cuadrados (Km²). Finalmente esta superficie se relaciona con el área total de cada provincia, lo que permite obtener el porcentaje de superficie cubierta por nieve.

4. RESULTADOS

Los productos desarrollados poseen una resolución temporal mensual y fueron generados para el período frío, comprendido entre abril y octubre. En conjunto con el equipo de Climatología del SMN se definió como período de referencia la serie del 2000-2020, con el objetivo de comparar la cobertura nival mensual actual con las condiciones medias observadas durante dicho período.

A continuación se presentan ejemplos de los principales productos obtenidos mediante la metodología descrita. En la Figura 2 se muestra una captura de pantalla de la información elaborada para las reuniones de tendencia climática del SMN, correspondiente al inicio del período frío del 2026. Dicha figura resume para cada provincia, la evolución mensual del porcentaje de la superficie cubierta por nieve. En cada gráfico se compara el año en curso con años anteriores y con el período de referencia 2000-2020. Adicionalmente, en la esquina superior derecha de cada gráfico se sintetiza la anomalía porcentual del mes analizado respecto al período de referencia. Por ejemplo en mayo de 2026 se estimó un 95% menos de superficie cubierta por nieve con respecto a mayo del 2000-2020 (período de referencia) para la provincia de San Juan.

Además de los productos provinciales, la metodología permite procesar unidades espaciales específicas de acuerdo con los requerimientos de los diferentes usuarios, tales como cuencas hidrográficas. En este sentido, se ha elaborado la estimación de la superficie cubierta por nieve para la Cuenca del Río Desaguadero. En la Figura 3 se observa el porcentaje mensual del índice NDSI para julio del 2023, junto con una composición RGB en falso color. La comparación entre ambos permite realizar una verificación visual de la distribución espacial de la cobertura nival estimada.

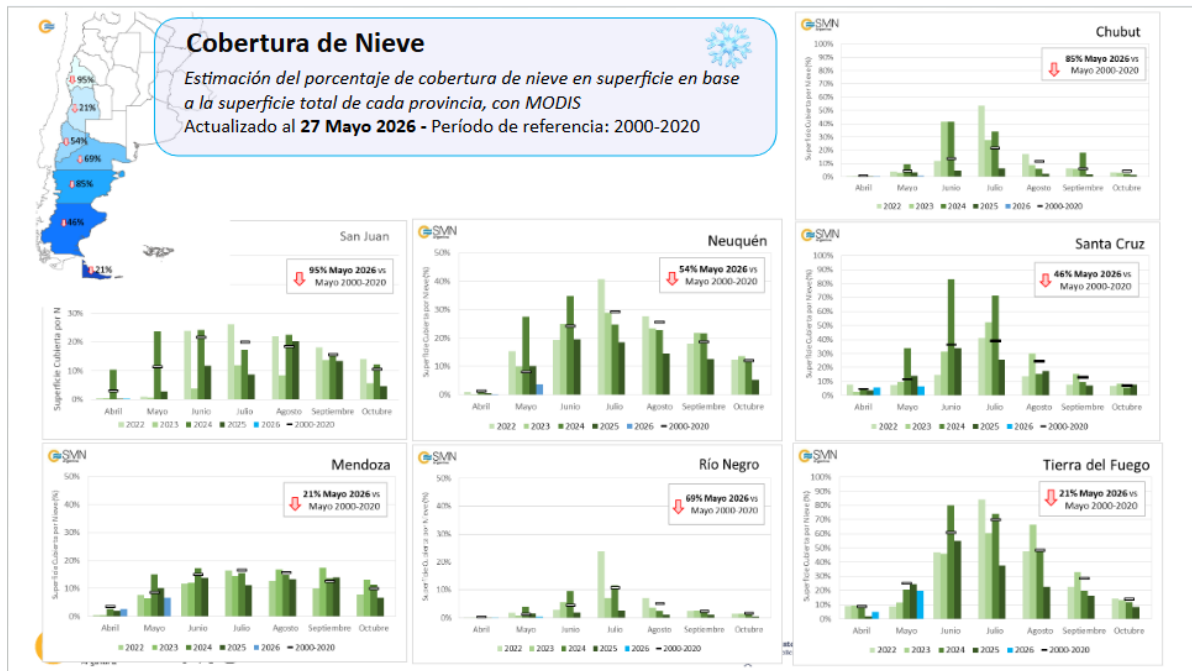


Figura 2: Gráficos del porcentaje de superficie cubierta por nieve para mayo de 2026, información actualizada al 27/05/26 y presentada el 29/05/26.

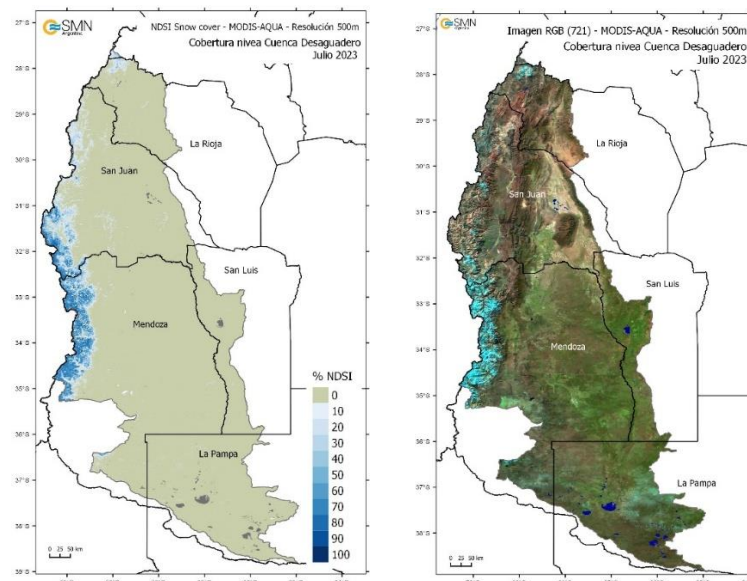


Figura 3: Imágenes del índice NDSI (Izq.) y RGB falso color (Der.) de MODIS para la Cuenca del Río Desaguadero, julio de 2023.

A partir de las imágenes mensuales del índice NDSI se generan productos binarios de cobertura nival, que nos permiten visualizar y cuantificar la superficie cubierta por nieve en un mes determinado, como también comparar la distribución espacial entre diferentes períodos. En la Figura 4 se muestra un ejemplo entre junio y julio del 2023 para la Cuenca del Río Desaguadero. En el mapa, el color naranja representa la superficie cubierta por nieve en junio de 2023, mientras que el color azul es el área cubierta por nieve en julio del 2023, el color celeste representa las áreas clasificadas como nieve en ambos meses. Esta representación permite identificar cambios espaciales en la cobertura nival entre períodos consecutivos, interpretando las áreas naranjas como aquellos sectores donde la nieve presente en junio dejó de observarse en julio (derretimiento), mientras que las áreas en azul corresponden a sectores de nieve identificadas en julio pero no en junio, y en celeste aquellas áreas de persistencia de nieve en ambos meses, que no necesariamente implican mayor acumulación de nieve.

La cuantificación de estos productos se realiza mediante el cálculo de la superficie cubierta por nieve, expresada en Km² para cada período analizado, permitiendo determinar los cambios existentes en la cobertura nival. Esta información permite elaborar los gráficos de evolución durante el período frío de un año determinado, compararlo con años previos y con el período de referencia, y así poder analizar la evolución histórica de un mismo mes a lo largo de toda la serie. En la Figura 5 se presentan ejemplos de estos gráficos para la Cuenca del Río Desaguadero. El primer gráfico muestra la evolución mensual de la cobertura nival durante el período frío del 2023 (barras celestes), en comparación con los dos años anteriores, 2021 (barras gris claro) y 2022 (barras gris oscuro) y con el período de referencia 2000-2020 (línea punteada). El segundo gráfico muestra la evolución interanual de la cobertura nival correspondiente al mes de julio, desde el año 2000 hasta el 2023, junto con el valor medio del período de referencia.

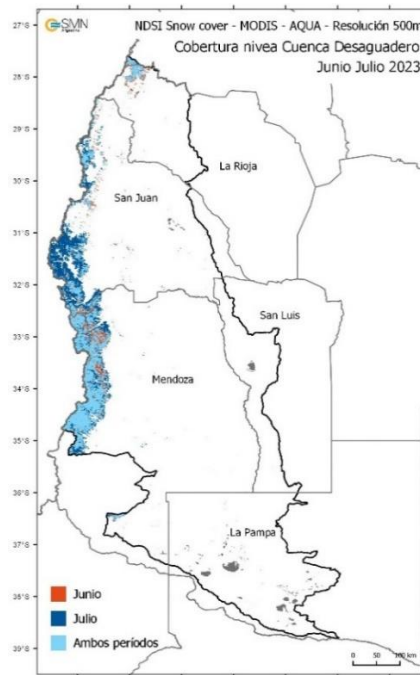


Figura 4: Diferencia de la cobertura de nieve entre junio y julio de 2023, para la Cuenca del Río Desaguadero.

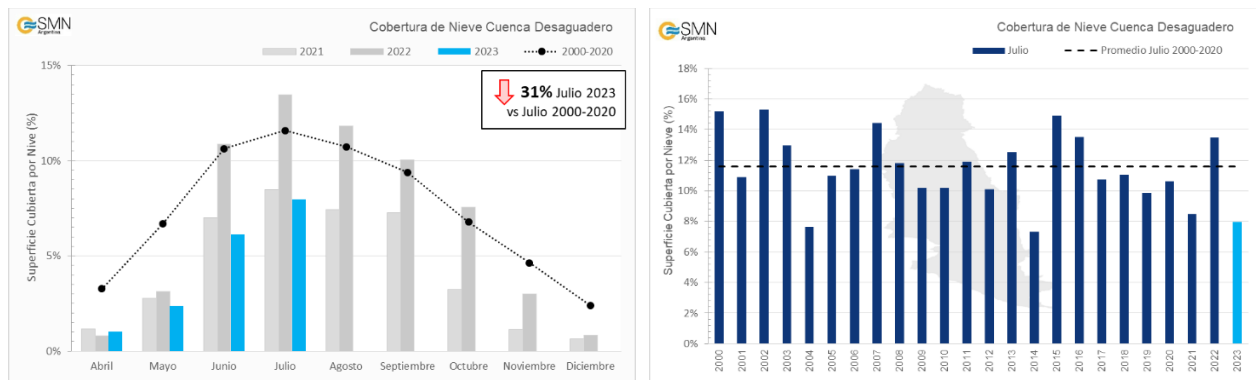


Figura 5: Gráficos del porcentaje de superficie cubierta por nieve para la Cuenca del Río Desaguadero, julio de 2023.

5. DISCUSIÓN

En esta metodología se optó por utilizar un producto de nivel 2 de procesamiento, MOD09GA, aun cuando existe un producto de nivel 3, MOD10A1, el cual posee la misma resolución espacial y temporal y proporciona, entre otros productos, información del área cubierta de nieve, conocida como snow cover area (SCA, por sus siglas en inglés). Si bien el algoritmo básico utilizado para la generación del SCA se encuentra ampliamente documentado (Riggs & Hall 2011), se identificaron limitaciones relevantes para su aplicación operativa en el

área de estudio. Una de las principales limitaciones observadas es la disponibilidad y calidad de la información durante los meses invernales, siendo los más críticos y esenciales para el monitoreo de la cobertura nival en Argentina.

Asimismo, se observó que ante eventos de nevadas extraordinarias en zonas extra andinas, el producto MOD10A1 puede tender a subestimar el área nevada. Esta situación podría estar asociada a algunas limitaciones propias del producto, entre ellas la dificultad de discriminar nieve y nubosidad, dado que ambas presentan respuestas espectrales similares, especialmente cuando las nubes contienen hielo. La cobertura nubosa constituye una de las principales restricciones para el uso de los productos de cobertura de nieve de MODIS, ya que puede impedir el mapeo parcial o total de la superficie nevada (Hall y Riggs, 2007).

Otras limitaciones documentadas incluyen la imposibilidad de elaborar mapas de la cobertura de nieve en condiciones de oscuridad polar durante el invierno (Riggs et al., 2019), así como la dificultad para detectar áreas de nieve efímera o capas de nieve muy delgadas, que pueden no ser cartografiadas correctamente por MODIS (Hall et al., 2010).

También se evaluó la posibilidad de utilizar productos de cobertura de nieve provenientes del sensor VIIRS, los cuales han sido validados con MODIS. Sin embargo, su incorporación operativa depende de la disponibilidad del conjunto de datos dentro del catálogo de GEE, cuya ingesta ha sido solicitada pero aún no se encuentra disponible para su uso al momento de elaboración de esta nota técnica.

En este contexto, el procesamiento a partir de las reflectancias de superficie del producto MOD09GA, descrito en esta metodología permite contar con una alternativa flexible para el monitoreo de la cobertura nival. Aun tratándose de un proceso semiautomático que requiere una instancia de control visual mediante el uso de imágenes RGB falso color, con el fin de verificar que las áreas clasificadas correspondan efectivamente a superficie cubierta por nieve (ver ANEXO).

6. CONCLUSIONES

En esta nota técnica se presentaron los productos destinados al monitoreo de la cobertura nival para Argentina, desarrollados a partir de la información diaria del sensor MODIS a bordo del satélite Terra. La serie procesada abarca el período 2000 a la actualidad, permitiendo analizar la evolución mensual y estacional de la superficie cubierta por nieve.

Los resultados obtenidos evidencian la gran utilidad de estos productos para caracterizar las variaciones temporales y la distribución espacial de la cobertura nival en regiones donde la disponibilidad de datos in-situ es limitada.

La metodología implementada constituye una herramienta complementaria para el seguimiento operativo de la nieve en la Cordillera de los Andes. Dado que el monitoreo de la cobertura de nieve con sensores ópticos presenta limitaciones asociadas, que ya mencionamos. El producto se encuentra en un proceso continuo de verificación y mejora. En particular, se continúa poniendo foco en los eventos extremos, y en el ajuste de la técnica para fortalecer la confiabilidad de los productos generados.

7. REFERENCIAS

- Bolzi et al., 2025: Monitoreo de la superficie cubierta por nieve en la cuenca del Río Chubut mediante el NDSI de MODIS y datos in situ disponibles durante el invierno de 2024. CONGREGMET, La Plata 2025. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/3159>.
- Cara et al 2016: Análisis de la cobertura nival de la cuenca superior del Río Mendoza a partir de imágenes MODIS. Meteorológica vol.41 no.1 Ciudad Autónoma de Buenos Aires junio 2016. ISSN 1850-468X
- Dozier J., T.H. Painter, K. Rittger, and J.E. Frew, 2008: Time-space continuity of daily maps of fractional snow cover and albedo from MODIS. Advances in Water Resources, 31, 11, 1515-1526.
- Flores, K., Copes, G., Barnatán, I., Ibarzabal, T., Bejarano, I., Urbano, A., Oviedo, V. 2024: Guía de Medición de nieve. Nota Técnica SMN 2024-161. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2678>.

- Hall y Riggs, 2007: Accuracy assessment of the MODIS snow products. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.6715>.
- Hall et al., 2010: A Comparison of Satellite-Derived Snow Maps with a Focus on Ephemeral Snow in North Carolina. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20110005679>.
- Hall, D. K. and G. A. Riggs. 2016: MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m SIN Grid, Version 6. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A1.006>.
- Masiokas, M.H. et al., 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, pp.6334 -6352.
- Riggs et al., 2019: MODIS Snow Products Collection 6.1 User Guide. https://nsidc.org/sites/default/files/c61_modis_snow_user_guide.pdf.

ANEXO

Se presentan dos ejemplos en los que no se detectó correctamente la superficie cubierta por nieve utilizando el producto MOD10A1. Se emplea la banda NDSI_Snow_Cover, donde los valores de 0 a 100 indican nieve y los superiores a 100 se enmascaran. Además, aplica otros criterios para excluir píxeles que no corresponden a nieve, como la climatología de nubes.

El primer ejemplo corresponde a la provincia de Mendoza. A fines de agosto del 2023 ocurrió un temporal de nieve que afectó el sur de la provincia, específicamente el departamento de Malargüe. Este fenómeno extraordinario fue uno de los más intensos y destructivos en casi dos décadas, paralizó la ciudad de Malargüe y provocó el aislamiento temporal de gran parte del departamento. En la Figura 6 se presenta la imagen de NDSI Snow Cover promedio de agosto de 2023 (imagen izq.). Si bien esta imagen muestra el porcentaje de SCA en cada pixel, en el zoom se observa un patrón escalonado (recuadro amarillo) y al comparar con la imagen RGB falso color y el índice NDSI, elaborado con la metodología descrita en esta nota técnica, se comprueba que efectivamente la superficie cubierta por nieve en Malargüe fue mayor. Este error en el producto MOD10A1 genera un cálculo erróneo del SCA para la provincia y no coincide con los datos registrados en la estación meteorológica de superficie del SMN Malargüe Aero (Tabla IV) y con los impactos reportados en los medios de comunicación.

Tabla IV: Datos registrados en la estación Malargüe Aero de la red del SMN en agosto del 2023.

Fecha	Altura de nieve (cm)
22/08/2023	4
23/08/2023	60
24/08/2023	37
25/08/2023	28
26/08/2023	22
27/08/2023	18
28/08/2023	15
29/08/2023	8

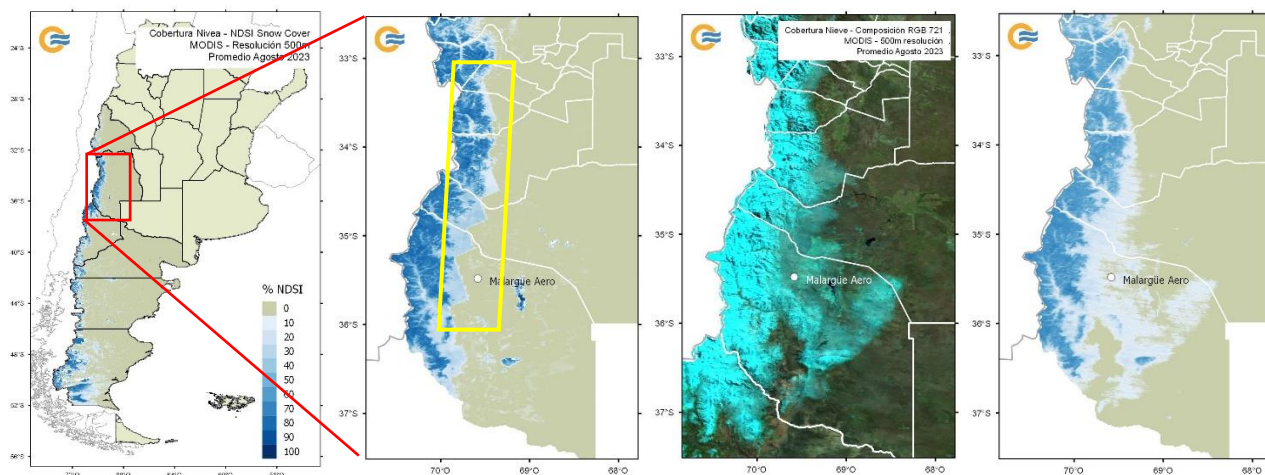


Figura 6: Imágenes promedio de agosto 2023, de NDSI snow cover, RGB falso color e índice NDSI para la Provincia de Mendoza.

En la figura 7 se muestra otro ejemplo, ocurrido en junio del 2024 en la Patagonia. Al igual que en el caso anterior, el NDSI snow cover de MOD10A1 no brinda información en época invernal, la proporciona de forma parcial o directamente errónea. Se observa un patrón geométrico (recuadro amarillo) y sectores sin datos, a pesar de que en ese período hubo un evento de alto impacto que afectó a toda la Patagonia, que provocó cortes de rutas nacionales, personas evacuadas y la declaración de emergencia agropecuaria debido a la nevada y las bajas temperaturas (Resoluciones 679, 680 y 681 del Ministerio de Economía, en el marco de la Ley N° 26.509, publicadas el 06 de agosto del 2024 en Boletín Oficial). En el sur de la provincia de Chubut y Santa Cruz la superficie cubierta por nieve fue desde la Cordillera de los Andes hasta la costa atlántica, como se observa en la imagen RGB falso color, el índice NDSI y el registro de datos de tres de las estaciones de la red del SMN Paso de Indios en Chubut y Santa Cruz Aero y Río Gallegos Aero en Santa Cruz (Tabla V).

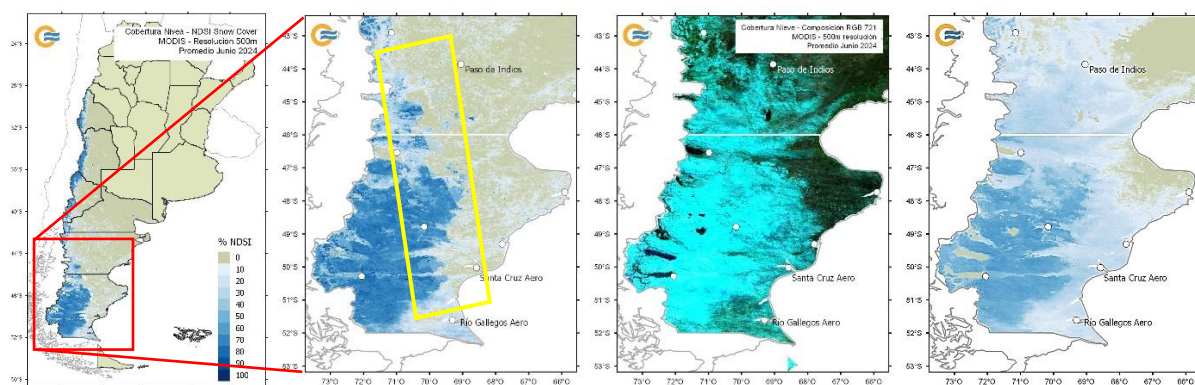


Figura 7: Imágenes promedio de junio 2024, de NDSI snow cover, RGB falso color e índice NDSI para las Provincias de Chubut y Santa Cruz.

Tabla V: Datos registrados en las estaciones Paso de Indios, Santa Cruz Aero y Río Gallegos Aero de la red del SMN en junio del 2024.

Fecha	Paso de Indios Altura de nieve (cm)	Santa Cruz Aero Altura de nieve (cm)	Río Gallegos Aero Altura de nieve (cm)
16/06/2024		1	
17/06/2024		3	
18/06/2024			3
19/06/2024			11
20/06/2024	10		
21/06/2024	26	20	7
22/06/2024	19	9	6
23/06/2024	18	7	
24/06/2024	16	7	6
25/06/2024	14	6	
26/06/2024	9	10	7

Fecha	Paso de Indios Altura de nieve (cm)	Santa Cruz Aero Altura de nieve (cm)	Río Gallegos Aero Altura de nieve (cm)
16/06/2024		1	
17/06/2024		3	
18/06/2024			3
19/06/2024			11
27/06/2024	4	10	5
28/06/2024	3	10	5
29/06/2024	1	10	6
30/06/2024		10	4

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional.