



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**INVENTARIO PÚBLICO DE COBERTURA NIVAL
AÑO 2024**

REALIZADO POR:

**Subdivisión de Glaciología y Nieves
División de Hidrología
Dirección General de Aguas**

S.D.T. N° 508

Santiago, abril 2025

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Ministra de Obras Públicas

Sra. Jessica López Saffie

Director General de Aguas

Sr. Rodrigo Sanhueza Bravo

Jefe de División de Hidrología

Sr. Luis Alberto Moreno Rubio

SUBDIVISIÓN DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES

Sr. Tomás Pérez C.



Citar este informe como sigue:

Dirección General de Aguas (DGA), 2025. **INVENTARIO PÚBLICO DE COBERTURA NIVAL AÑO 2024** S.D.T. N° 508, 2025. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Hidrología, Subdivisión de Glaciología y Nieves.



Tabla de Contenidos

1	INTRODUCCIÓN	5
2	METODOLOGÍA.....	7
3	CONSIDERACIONES	9
4	REFERENCIAS	10

1 Introducción

Los glaciares y las nieves constituyen reservas estratégicas de agua dulce, poseen valor paisajístico e integran el patrimonio ambiental de la humanidad, lo que justifica su preservación y/o conservación.

Con fecha 6 de abril de 2022, se publicó en el Diario Oficial la Ley N° 21.064, de 25 de marzo de 2022, que reforma el Código de Aguas¹. Mediante dicha ley se instruyó en el numeral 1 literal b) del artículo 299 del citado cuerpo legal que la Dirección General de Aguas deberá *"Asimismo, mantener y operar la red de monitoreo e inventario de glaciares y nieves, el que incluye tanto mediciones de volumen y acumulación, como sus características y ubicación, debiendo proporcionar y publicar la información correspondiente, conforme al reglamento dictado al efecto"*.

En virtud de lo señalado, la Dirección General de Aguas (en adelante DGA) deberá elaborar un Inventario Público de Cobertura Nival (IPCN) que complemente al existente Inventario Público de Glaciares (IPG).

El IPCN será distribuido en formato *shapefile* presentando la cobertura nival máxima nacional captada por imágenes satelitales ópticas por cuencas del Banco Nacional de Aguas (BNA). El sistema de referencia corresponderá a WGS 84 UTM Huso 19 Sur.

¹ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>

Con fecha 11 de enero de 2024, se publicó en el Diario Oficial la resolución N° 50 del Ministerio de Obras Públicas que aprueba reglamento que regula la información que la DGA debe proporcionar y publicar sobre la red de monitoreo e inventario de glaciares y nieves.

Con fecha 3 de abril de 2024, se publicó en el Diario Oficial la resolución N° 758 del Ministerio de Obras Públicas que establece los campos de información relativos al IPCN de la DGA. Los campos contenidos en dicha resolución corresponden a:

	CAMPO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
1	SHAPE	Tipo de vector utilizado (polígono) con cobertura nival máxima para cada cuenca	Texto
2	AREA_KM2	Área de la cuenca con cobertura nival máxima en el año de estudio	km ²
3	MZON_GLAC	Macrozona glaciológica donde se sitúa la cuenca	Texto
4	COTA_MAX	Cota máxima de la cobertura nival de la cuenca	m s.n.m.
5	COTA_MIN	Cota mínima de la cobertura nival de la cuenca	m s.n.m.
6	NOM_CUEN	Nombre de la cuenca del Banco Nacional de Aguas (BNA)	Texto
7	COD_CUEN	Código de la cuenca del Banco Nacional de Aguas (BNA)	Número
8	AREA_CUEN	Área de la cuenca del Banco Nacional de Aguas (BNA)	km ²
9	PCN	Porcentaje de la cuenca cubierta por nieve	%
10	FUENTE_DIG	Fuente digitalización	Texto
11	FUENTE_FECHA	Fecha de la fuente utilizada para la digitalización	dd/mm/aaaa
12	DATUM	Sistema de referencia geodésico	Texto
13	HUSO	Zona UTM (Universal Transverse Mercator) en la que se sitúa la cuenca	Texto

Adicionalmente, se incluyó el siguiente campo:

	CAMPO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
14	COTA_PROM	Cota promedio de la cobertura nival de la cuenca o línea de nieves	m s.n.m.

La evaluación del área de cobertura nival se realizó dentro del último trimestre del año calendario (entre los meses de octubre y diciembre), con los datos disponibles al tercer trimestre de dicho año (desde julio a septiembre).

El inventario se realizó para 100 cuencas del Banco Nacional de Aguas (en adelante BNA) de la DGA y se excluyó la cuenca "Islas del Pacífico, código BNA 056", debido a que no tiene cobertura satelital del producto nival.

2 Metodología

Se utilizaron datos satelitales provenientes de la misión *Earth Observing System* (EOS) de la NASA del sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), debido a su extensa cobertura espacial y frecuencia diaria de captación.

A través del sensor MODIS se genera el producto diario *Snow Cover Daily* L3 versión 6.1, en sus versiones MOD10A1 del satélite Terra y MYD10A1 del satélite Aqua, respectivamente (Hall, et al., 2016). Estos productos satelitales diarios poseen una resolución espacial de 500 m y se encuentran disponibles a partir de los años 2000 (MOD10A1) y 2002 (MYD10A1) hasta la actualidad.

Los productos de nieve a partir de imágenes MODIS son ampliamente utilizados global y regional para la estimación y el análisis espacio-temporal de la cobertura nival en diferentes partes del mundo (Kour, et al., 2016; Tang, et al., 2013; Kour, et al., 2016; Saavedra, et al., 2017; Pérez, 2017; Malmros, et al., 2018; Shafiq, et al., 2019; Mattar, et al., 2022).

A partir de los productos MOD10A1 y MYD10A1 se usaron sus bandas "*NDSI_Snow_Cover*" y "*Snow_Albedo_Daily_Tile_Class*". La primera banda contiene valores de porcentaje de nieve entre 0 y 100, y permite configurar un umbral del Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI) para diferenciar

nieve de otras coberturas; habitualmente este umbral corresponde a 0,4, por lo que los valores menores a este umbral se consideran "No Nieve".

Por otra parte, la banda "Snow_Albedo_Daily_Tile_Class" se utilizó para reclasificar los valores no clasificados como nieve en la banda "NDSI_Snow_Cover" ("No Nieve"). Estos valores incluyen superficie sin nieve identificada, cuerpos de agua, nubes y fallos del sensor, por lo que sus valores debieron reclasificarse de acuerdo con el siguiente cuadro:

TIPO	CLASE	VALOR ORIGINAL	RECLASIFICACIÓN
No data	Sin decisión	101	0
	Noche	111	0
	Nube	150	0
	Nube detectada como nieve	151	0
	Faltante	250	0
	Falla en máscara de tierra	252	0
	Máscara de no producción	254	0
No nieve	Tierra	125	50
	Aguas continentales	137	50
	Océano	139	50
	Auto-sombreado	251	50
	Fallo de BRDF	253	50

Los valores verdaderos del umbral NDSI ($\geq 0,4$) que se corresponden con la clase "Nieve" se reclasifican con el valor 100. Lo anterior permite que el producto quede reclasificado en las clases "No data", "No Nieve" y "Nieve" con los valores 0, 50 y 100, respectivamente.

Debido a que el sensor MODIS es óptico, éste se encuentra afectado significativamente por la cobertura nubosa en latitudes medias y regiones montañosas. Por lo tanto, se incluyeron ambos pasos en el procesamiento de las imágenes satelitales. Para el filtro temporal se ocupa una ventana de 6 días (3 días previos y 3 días posteriores al día en evaluación) que recupera píxeles cubiertos por nubes con otros valores presentes en la ventana temporal, teniendo como prioridad la clase "Nieve".

Posteriormente, se obtuvieron las cotas promedio mínimas y máximas de la cobertura nival para cada cuenca BNA mediante la utilización de un Modelo Digital de Elevación (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 90 metros de resolución espacial y la elevación de cada pixel cubierto de nieve.

Finalmente, se obtuvo el máximo nival de cada cuenca para la estación invernal y los pixeles correspondientes a la clase "Nieve" se vectorizaron a polígono dando como resultado al campo "AREA_KM2" del inventario. Este ultimo campo dividido por la superficie de la cuenca da origen al campo "PCN".

3 Consideraciones

Es importante destacar que el IPCN presenta cobertura nival en cuanto a extensión y no espesor del manto nival. Por otro lado, debido al impacto de la persistencia de la cobertura nubosa no fue posible obtener imágenes completamente libres de nubes, lo cual se acentúa mucho más a partir de la zona centro-sur del país en adelante. Por lo tanto, la cobertura máxima obtenida puede estar subestimada a causa de la pérdida de información en pixeles con nubes.

Asimismo, el inventario considera el área del polígono del acuerdo de 1998 de la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado (DIFROL) del Ministerio de Relaciones Exteriores y la versión 4 del límite fronterizo.

4 Referencias

- Gafurov, A. & Bárdossy, A., 2009. Cloud removal methodology from MODIS snow cover product. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), pp. 1361-1373.
- Hall, D., Riggs, G. & Salomonson, V., 2016. *MODIS/terra snow cover daily L3 global 500m grid, version 6*, s.l.: National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center.
- Kour, R., Patel, N. & Krishna, A. P., 2016. Effects of terrain attributes on snow-cover dynamics in parts of Chenab basin, western Himalayas. *Hydrological Sciences Journal*, Volumen 61, pp. 1861-1876.
- Malmros, J. K. y otros, 2018. Snow cover and snow albedo changes in the central Andes of Chile and Argentina from daily MODIS observations (2000–2016). *Remote Sensing of Environment*, Volumen 209, pp. 240-252.
- Mattar, C., Fuster, R. & Perez, T., 2022. Application of a cloud removal algorithm for snow-covered areas from daily MODIS imagery over Andes Mountains. *Atmosphere*, 13(3), p. 392.
- Parajka, J. & Blöschl, G., 2008. Spatio-temporal combination of MODIS images-potential for snow cover mapping. *Water Resources Research*, 44(3).
- Pérez, T., 2017. *Análisis de la cobertura nival de la cuenca del Río Aysén a partir de imágenes satelitales y datos in-situ*. s.l.: Repositorio Memorias Universidad de Chile.
- Riggs, G. A., Hall, D. & Salomonson, V., 2006. *MODIS snow products user guide*, s.l.: NASA Goddard Space Flight Center.
- Saavedra, F. A., Kampf, S. K. & Fassnacht, S. R., 2017. A snow climatology of the Andes Mountains from MODIS snow cover data. *International Journal of Climatology*, Volumen 37, pp. 1526-1539.
- Shafiq, M., Ahmed, P., Islam, Z. & Joshi, P., 2019. Snow cover area change and its relations with climatic variability in Kashmir Himalayas, India. *Geocarto International*, Volumen 34, pp. 688-702.
- Tang, Z., Wang, L., Li, H. & Yan, L., 2013. Spatiotemporal changes of snow cover over the Tibetan plateau based on cloud-removed moderate resolution imaging spectroradiometer fractional snow cover product from 2001 to 2011. *Journal of Applied Remote Sensing*, Volumen 7.