



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

**INVENTARIO PÚBLICO DE COBERTURA NIVAL
AÑO 2025**

REALIZADO POR:

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

S.D.T. N° 542

Santiago, diciembre 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

Jefe Subdivisión de Glaciología y Nieves

Sr. Jorge Huenante Gutiérrez

SUBDIVISIÓN DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES

Sr. Franco Buglio

Srta. Isabella Ciocca

Srta. Emilia Fercovic

Sr. Diego González

Sr. José Olave

Sr. Tomás Pérez

Sr. Alexis Segovia



Citar este informe como sigue:

Dirección General de Aguas (DGA), 2025. **INVENTARIO PÚBLICO DE COBERTURA NIVAL AÑO 2025** S.D.T. N° 542, 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
2.1	RECLASIFICACIÓN DE VALORES	7
2.2	FILTROS Y CORRECCIÓN POR PRESENCIA DE NUBES	8
2.3	CÁLCULO DE PARÁMETROS DE COBERTURA NIVAL	10
3	CONSIDERACIONES	10
4	REFERENCIAS	11

Índice de tablas

Tabla 1.	Campos del IPCN.	6
Tabla 2.	Campos adicionales del IPCN.	6
Tabla 3.	Valores de la banda "Snow_Albedo_Daily_Tile_Class".	8
Tabla 4.	Filtro de altitud-latitud.	9

1 Introducción

El derretimiento de nieves y glaciares en los Andes es uno de los principales contribuyentes de suministro de agua para irrigación, industrias, generación hidroeléctrica. Estudios recientes sobre el retroceso glaciar y disminución en la frecuencia y magnitud de nevadas revelan la sensibilidad de la población y ecosistemas al cambio climático. Las cuencas andinas presentan una importante acumulación nival durante el invierno austral y un derretimiento en primavera y verano, que depende de la altitud y temperatura ambiente. A altitudes elevadas, la nieve persiste por más tiempo y almacena volúmenes de agua significativos, que son liberados en forma de escorrentía superficial y recarga de aguas subterráneas cuando la radiación solar aumenta. Asimismo, existen nieves permanentes que permanecen durante todo el año sin derretirse, formando glaciares y mantos de hielo (Dietz, et al., 2025; Dietz, et al., 2025).

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 en 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:

Tabla 1. Campos del IPCN.

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 incluyeron los siguientes campos:

Tabla 2. Campos adicionales del IPCN.

CAMPO		DESCRIPCIÓN	UNIDAD
14	COTA_PROM	Cota promedio de la cobertura nival de la cuenca o línea de nieves	m s.n.m.
15	MES	Mes calendario	Texto

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 del mismo 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 hay cobertura satelital del producto nival MODIS utilizado.

2 Metodología

2.1 Datos de entrada y reclasificación

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 identifican nieve y albedo a 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).

2.1 Reclasificación de valores

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, por sus siglas en inglés) para diferenciar nieve de otras coberturas; habitualmente este umbral corresponde a 0,4 (Salomonson, & Appel, 2004), por lo que los valores menores a este umbral se consideran "No Nieve".

Los valores del umbral NDSI ($\geq 0,4$) corresponden a la clase "Nieve" y se reclasifican con el valor 100.

Por otra parte, la banda "Snow_Albedo_Daily_Tile_Class" se utilizó para reclasificar los valores del producto distintos de nieve ("No Nieve"), pudiendo ser nubes, cuerpos de agua o errores del sensor. 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 la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores de la banda "Snow_Albedo_Daily_Tile_Class".

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

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. El valor permite priorizar la clase "Nieve".

2.2 Filtros y corrección por presencia de nubes

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 los siguientes pasos de recuperación de píxeles sin información:

1. Combinación Terra-Aqua

Se obtuvo el máximo diario de clases entre la pasada de ambos satélites, debido a su diferencia de 3 horas y orbitas opuestas. Terra pasa a las 10:30 horas sobre el ecuador en órbita descendente y Aqua a las 13:30 horas en órbita ascendente.

2. Filtro temporal

Se rellenaron pixeles de clase "No data" en una vecindad de 6 días (3 días previos y 3 días posteriores al día en evaluación), usando el operador lógico OR en 3 shifts, comparando los días previos con los posteriores y obteniendo la clase máxima en cada shift.

Para asegurar la no propagación de falsos positivos en la clase "Nieve" se incluyó un chequeo de persistencia, en donde si el pixel evaluado y al menos uno de los vecinos coincidieron espacialmente, el pixel se mantuvo como nieve.

3. Filtro de altitud-latitud y relleno

Se eliminaron pixeles clasificados como "Nieve" en la costa en latitudes altas y medias del país, debido a confusión en la identificación de nieve con nubes bajas y brillantes por el sensor MODIS. Para esto, se aplicó un filtro de altitud-latitud por macrozonas del país, de acuerdo a la Tabla 4. En este sentido, se eliminaron pixeles de nieve bajo el umbral de altitud en los determinados rangos latitudinales indicados.

Tabla 4. Filtro de altitud-latitud.

MACROZONA	RANGO LATITUDINAL	ALTITUD (m s.n.m.)
Norte	Latitud $\geq 30^{\circ}\text{S}$	3.000
Centro	$30^{\circ}\text{S} \leq \text{Latitud} < 36^{\circ}\text{S}$	1.500
Sur	$36^{\circ}\text{S} \leq \text{Latitud} < 44^{\circ}\text{S}$	1.000
Austral	Latitud $\leq 44^{\circ}\text{S}$	500

Donde se mantuvo la cobertura nubosa luego de este filtro, se rellenó con el IPG2022_v2 para completar zonas glaciadas con nieve.

2.3 Cálculo de parámetros de cobertura nival

Cada imagen satelital se cortó con las respectivas cuencas BNA, integrando la información de este vector, es decir, nombre, código y área.

Posteriormente, se obtuvo la elevación de cada y pixel, y así 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, remuestreado a 500 m para obtener la elevación de cada pixel cubierto de nieve.

Finalmente, se obtuvo el máximo de superficie nival de cada cuenca por mes (julio, agosto y septiembre) y los pixeles correspondientes a la clase "Nieve" se vectorizaron.

EL IPCN se realizó con los 92 días del período correspondiente al tercer trimestre del año en evaluación (2025).

3 Consideraciones

Es importante destacar que el IPCN presenta cobertura nival en cuanto a extensión superficial, pero no espesor de esta.

Por otro lado, debido al impacto de la persistencia de la cobertura nubosa, no fue posible obtener imágenes completamente libres de nubes en algunos sectores, lo cual se acentúa mucho más a partir de la zona sur del país. Por lo tanto, la cobertura máxima obtenida puede estar subestimada a causa de la pérdida de información en pixeles con nubes.

Asimismo, el IPCN considera el área del polígono del acuerdo de 1998 en la región de Magallanes y la Antártica Chilena, 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

- Dietz, A. J. y otros, 2025. Snow Cover Trends in the Chilean Andes Derived from 39 Years of Landsat Data and a Projection for the Year 2050. 17(9), p. 1651.
- 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.
- 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.
- Salomonson, V. V. & Appel, I., 2004. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote sensing of environment*. 89(3), pp. 351-360.
- 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.
- Stehr, A. & Aguayo, M., 2017. Snow cover dynamics in Andean watersheds of Chile (32.0–39.5 S) during the years 2000–2016. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(10), pp. 5111-5126.
- 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.