

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00004 4800

GLA-5178

C.A

## INFORME TÉCNICO

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
Unidad de Investigación Recursos Hídricos  
Área de Documentación

# ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DEL INVENTARIO DE GLACIARES

S.D.T. N° 294

SANTIAGO, Junio de 2008

**INDICE**

DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
Centro de Información Recursos Hídricos  
Área de Documentación

1. Introducción	2
2. Antecedentes	3
3. Aspectos metodológicos del inventario de glaciares	5
4. Identificación de necesidades de inventario	7
5. Conclusiones	9
6. Bibliografía	10

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente informe tiene como objetivo central efectuar un análisis de la situación del levantamiento catastral de glaciares o inventario de glaciares.

El propósito central de esta labor es establecer el nivel de cobertura actualmente existente para, a partir de ello, establecer las necesidades de inventario en función de los objetivos que se establezcan dentro de la DGA y que de esta manera definen también objetivos específicos para la Unidad de Glaciología y Nieves (UGN) recientemente creada en el Servicio.

A título referencial se puede señalar que la tarea de catastro o inventario, es esencialmente dinámica por cuanto estos cuerpos muestran fluctuaciones que siguen tendencias a escalas temporales claramente diferenciadas; existiendo fluctuaciones estacionales; interanuales y a escalas mayores de tiempo.

En el país ha habido un trabajo desde varias décadas atrás donde se han efectuado inventarios de glaciares, los que son la base fundamental para el conocimiento de los recursos almacenados en estado sólido.

A partir de ello se procederá a establecer las cuencas donde es necesario avanzar en los catastros y en base a ésto definir las condiciones de efectuar programas de trabajo para ir avanzando en completar el inventario nacional.

## 2. ANTECEDENTES

Uno de los componentes centrales en el ciclo hidrológico de nuestro país son los glaciares, los que pueden ser considerados reservas estratégicas de agua en estado sólido. Los glaciares también constituyen buenos indicadores de cambios climáticos, debido a que la mayoría de ellos han experimentado retrocesos históricos, en un contexto climático global cada vez más cálido. En Los Andes de Sudamérica existen alrededor de 25.908 km<sup>2</sup> de glaciares (Hambrey y Jürg, 2004); de ellos, más de 20.000 km<sup>2</sup> se encuentran en Chile (Casassa, 1995; Rivera *et al.*, 2002), fenómeno que posiciona a nuestro país como una gran reserva estratégica de agua dulce.

La Dirección General de Aguas (DGA) ha contribuido al conocimiento de los glaciares de Chile mediante la realización de inventarios de glaciares en la Zona Norte y Central de Chile. Los inventarios de glaciares se iniciaron en la década de 1970, y fueron realizados en base a fotografías aéreas de la década de 1950 (Vuelo Hycon). En 1979 se publicaron los inventarios de las cuencas del Maipo (Marangunic, 1979) y Cachapoal (Caviedes, 1979), mientras que en la década siguiente se publicaron las cuencas del Tinguiririca (Valdivia, 1984); del Mataquito (Noveroy, 1987); del Norte y Centro entre los 18° S y 32° S (Garín, 1987); y de la zona centro-sur entre los ríos Bío-Bío y Petrohué (Rivera, 1989). Por su parte, en el año 2004 se publicó el inventario para la cuenca del río Maule (Tapia, 2004).

A estos inventarios realizados por la DGA, deben agregarse estudios realizados por científicos extranjeros, los cuales se han desarrollado esencialmente en la zona Austral, debido a la gran concentración de extensos glaciares con relevancia científica en términos de contribución al aumento al nivel del mar y respuesta al calentamiento global. En la zona de Patagonia, para Campo de Hielo Norte se determinó una superficie de 4,200 km<sup>2</sup> para un total de 22 glaciares efluentes mayores (Aniya, 1988), mientras que para Campo de Hielo Sur, el cual representa la mayor extensión de glaciares del Hemisferio Sur, se inventarió una superficie de 13,000 km<sup>2</sup> con 48 glaciares efluentes (Aniya, *et al.*, 1996). En la zona Austral, el

denominado Gran Campo Nevado fue inventariado por Schneider *et al.* (2007) quien definió una superficie de 253 km<sup>2</sup>.

### **3. ASPECTOS METODOLOGICOS DEL INVENTARIO DE GLACIARES**

A comienzos de 2008, aún existen sin inventariar vastas zonas del país, principalmente en las regiones de Chiloé Continental y en los denominados glaciares “periféricos” de los Campos de Hielo (Figura 1).

A partir de la creación de la Unidad de Glaciología y Nieves (UGN) de la DGA, surgió la necesidad de evaluar la cobertura del inventario de glaciares del país. Aunque la realización de un *Inventario de Glaciares* en base a imágenes satelitales recientes permitirá actualizar la superficie de glaciares en cada cuenca hidrográfica del país, una de las prioridades en términos de inventario de glaciares es catastrar por primera vez zonas del país de las cuales no se dispone de información.

El inventario de glaciares hoy en día debe ser realizado a partir de imágenes satelitales recientes (después del 2000), básicamente porque se cuenta con una resolución adecuada para el proceso de identificación y delimitación. Estas imágenes deben representar la situación correspondiente al final de la temporada de ablación (Marzo-Abril), por que de esta manera es posible contar con la situación mas clara respecto de sus dimensiones y máxima exposición de hielo desnudo.

En el caso del inventario de glaciares descubiertos se pueden utilizar imágenes satelitales del sensor Landsat ETM+ o del sensor ASTER. Estos sensores captan escenas con resoluciones espaciales de 30 y 15 metros respectivamente en el espectro visible e infrarojo (VNIR). En el caso de no existir imágenes con buenas condiciones para realizar el inventario (escenas de finales de la época estival y con escasa cobertura nubosa) la información puede

ser complementada con fotografías aéreas recientes. El inventario de glaciares rocosos debe realizarse utilizando imágenes satelitales de alta resolución espacial (superiores a dos metros) como IKONOS, QuickBird, GeoEye o SPOT.

La realización del inventario requiere una metodología estandarizada y la definición de los contenidos del inventario utilizando las normas definidas por la UNESCO. En el caso de imágenes de satélites, la metodología empleada considera el razonamiento de bandas (*Band Ratio*) sobre las bandas 4 (infrarojo cercano) y 5 (infrarojo mediano) en el caso de imágenes tipo Landsat ETM+ (Paul *et al.*, 2002). El rango de clasificación para discriminar el hielo de otras superficies se obtiene analizando el histograma de frecuencia de las imágenes más la inspección visual de las mismas. Posteriormente es necesario aplicar un filtro medio de 3x3 Kernel para remover pixeles aislados, los cuales pueden corresponder a rocas sobre el glaciar o manchones de nieve cercanos al hielo.

La superficie mínima inventariable utilizando imágenes tipo Landsat es de 0.01 km<sup>2</sup> (1 hectárea) ya que dicho sensor tiene una resolución cercana a los 900 m<sup>2</sup> (superficie del pixel); como criterio adicional de discriminación, se consideran en el inventario sólo aquellos campos de nieve / glaciaretes presentes por más de 2 años consecutivos en cada imagen (Andreassen *et al.*, 2008; Müller *et al.*, 1977).

La mayor parte de los inventarios de glaciares realizados en Chile se han realizando siguiendo las normas de UNESCO- TTS/WGS (Müller *et al.*, 1977) y han considerado los parámetros tales como:

- coordenadas del glaciar
- superficie
- largo
- elevación máxima
- elevación mínima

- orientación media
- pendiente media

#### 4. IDENTIFICACION DE NECESIDADES DE INVENTARIO

Como primera cuestión para el levantamiento de las áreas que requieren la realización de inventario, se procedió a considerar la división y clasificación de cuencas hidrográficas establecida por la DGA (Benitez, 1980), la cual ha sido la base para todos los procedimientos de organización de redes fluviométricas, banco nacional de aguas; balances hidrológicos y también para el catastro público de aguas (que contiene catasro de lagos, cuencas y glaciares).

A partir de ello se procedió a identificar las cuencas cuyo régimen hidrológico cuenta con componente glacial, o cuencas de montaña; identificando en definitiva a aquellas cuencas de montaña con glaciares.

Para fines de organización se ha establecido una zonificación, establecida específicamente para los fines de este informe. Para estos efectos se ha identificado las siguientes zonas:

- Norte Grande
- Norte Chico
- Zona Central
- Chiloe continental aysen
- Campo Hielo Norte
- Campo Hielo Sur
- Austral:
  - Península Muñoz Gamero

- Isla Santa Inés
- Cordillera Darwin
- Isla Hoste

Como resultado de este trabajo se identificaron cuarenta (40) cuencas que cumplen con esta condición; en la Tabla N° 1 siguiente se presentan las cuencas, su código de clasificación según división hidrológica (código BNA); y nombre de la cuenca.

Además, en la Tabla se consignan aquellas cuencas que disponen de inventario de glaciares, indicándose la referencia a la documentación técnica de respaldo que contiene la información del inventario; esto se refiere a la información disponible en el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la DGA, ya sea realizado por la DGA como por científicos extranjeros (la celda en blanco indica que no hay inventario).

Como se ha señalado para las 40 cuencas en las que corresponde contar con inventario, agrupadas en las zonas ya mencionadas; actualmente existen 24 cuencas que cuentan con inventario realizado.

## 5. CONCLUSIONES

- a) El inventario de Glaciares debe ser realizado utilizando técnicas de percepción remota para la mejor identificación de glaciares, los cuales quedan expuestos al final de la temporada de ablación (Marzo-Abril)
- b) A partir del proceso de análisis de cuencas que cuentan con glaciares se concluye que éstas alcanzan a 40.
- c) La recopilación de información sobre inventarios de glaciares, realizados por la DGA como por otros autores, muestra que hay 24 cuencas con inventario realizado.
- d) Aquellas zonas sin información deben ser priorizadas, de modo tener una visión general de los glaciares del país, y posteriormente proceder a actualizar inventarios antiguos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Andreassen, L. M., Paul, F., Kääb, A., and Hausberg, J. E. 2008. Landsat-derived glacier inventory for Jotunheimen, Norway, and deduced glacier changes since the 1930s, *The Cryosphere*, **2**, 131-145.
- Aniya, M. 1988. Glacier Inventory in the Northern Patagonia Icefield and Recent Glacier Variations. *Arctic and Alpine Research* **20**: 179-187.
- Aniya, M., H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca and G. Casassa, 1996. The Use of Satellite and Airborne Imagery to Inventory Outlet Glacier of the Southern Patagonia Icefield, South America. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **62**: 1361-1369.
- Benítez, A. 1980. Clasificación de cuencas hidrográficas de Chile. Santiago, Dirección General de Aguas.
- Casassa, G. 1995. Glacier Inventory in Chile: Current Status and Recent Glacier Variations. *Annals of Glaciology*, **21**: 317-322
- Casassa, G., Smith, K., Rivera, A. Araos, J. Schirch M. & Schneider C. 2002. Inventory of glaciers in isla Riesco, Patagonia, Chile, based on aerial photography and satellite imagery. *Annals of Glaciology*, **34**:373-378.
- Caviedes, J. 1979. *Inventario de glaciares en la hoya del Río Cachapoal y predicción de la escorrentía de deshielo. Andes Centrales*. Tesis para optar al título de geólogo. Universidad de Chile.
- Hambrey, M. y Jürg, M: *Glaciers*. Cambridge University Press, Second Edition, (2004).
- Garín, C. 1987. Inventario de glaciares de los Andes Chilenos desde los 18º a los 32º de latitud sur. DGA.
- Garín, C. 1987. Inventario de glaciares de los Andes Chilenos desde los 18º a los 32º de latitud sur. *Revista de Geografía Norte Grande*, **14**, 34-48.
- Marangunic, C. 1979. *Inventario de Glaciares. Hoya del río Maipo*. Dirección General de Aguas, Publicación G-2, Santiago.
- Müller, F. Cafilisch, T. and Müller, G. 1977. *Instructions for Compilation and Assemblage of Data for a World Glacier Inventory*. Temporary Technical Secretariat for World Glacier Inventory, International Commission on Snow and Ice, Department of Geography, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich 19pp.

-Nicholson, L., Marin, J., Lopez, D., Rabatel, A., Bown, F. and A. Rivera. 2009. Glacier inventory of the upper Huasco valley, Norte Chico, Chile: glacier characteristics, glacier change and comparison to central Chile. *Annals of Glaciology*, **50** (53): 111-118.

-Noveroy, C. 1987. *Inventario de Glaciares de la Hoya del río Mataquito*. DGA, Publicación Interna, EH 87/1, 38.

- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T. and Haeberli, W. 2002. The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: I. Methods. *Annals of Glaciology* **34**, 355-361.

-Rivera, A. 1989. *Inventario de glaciares entre las cuencas de los ríos Bio Bio y Petrohué. Su relación con el volcanismo activo: Caso del volcán Lonquimay*. Memoria para optar al título de Geógrafo, Universidad de Chile, Santiago, 201.

-Rivera, A., T. Benham, G. Casassa, J. Bamber, & Dowdeswell, J. 2007. Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia icefield, Chile. *Global and Planetary Change*, **58**.

-Schneider, C., M. Schnirch, G. Casassa, C. Acuña & Kilian, R. 2007. Glacier Inventory at Gran Campo Nevado Ice Cap in the Southern Andes and glacier changes observed during recent decades. *Global and Planetary Change*, **59**, 87 - 100.

-Tapia, G. 2004. *Inventario de Glaciares del Río Maule*. Informe no publicado, DGA/MOP, Santiago, 41.

-Valdivia, P. 1984. *Inventario de glaciares. Hoya del Río Tinguiririca. VI Región*. DGA. Publicación interna.

-Vivero, S. 2008. *Inventario de glaciares descubiertos de la cuenca del río Copiapó y variaciones recientes en sus frentes*. Informe final de práctica profesional. DGA/Universidad de Chile, 51 pp.

## ANEXOS

TABLA N° 1

IDENTIFICACION DE CUENCAS DE MONTAÑA CON GLACIARES<sup>1</sup>

MACROREGION	CODIGO BNA DE CUENCA	NOMBRE BNA DE CUENCA	MEDIO DE VERIFICACION DISPONIBLE EN EL CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS (CIRH)
Norte Grande	010	Altiplanicas	
	012	Rio Lluta	
	021	Rio Loa	- Garín, C. 1987. <i>Inventario de glaciares de los Andes Chilenos desde los 18° a los 32° de latitud sur</i> . DGA.
	030	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacifico	
Norte Chico	034	Rio Copiapo	- Vivero, S. 2008. <i>Inventario de glaciares descubiertos de la cuenca del rio Copiapó y variaciones recientes en sus frentes</i> . Informe final de práctica profesional. DGA/Universidad de Chile, 51 pp.
	038	Rio Huasco	- Nicholson, L., Marin, J., Lopez, D., Rabatel, A., Bown, F. and A. Rivera. 2009. <i>Glacier inventory of the upper Huasco valley, Norte Chico, Chile: glacier characteristics, glacier change and comparison to central Chile</i> . <i>Annals of Glaciology</i> 50(53): 111-118.
	043	Rio Elqui	- Garín, C. 1987. <i>Inventario de glaciares de los Andes Chilenos desde los 18° a los 32° de latitud sur</i> . <i>Revista de Geografía Norte Grande</i> , 14, 34-48.
	045	Rio Limari	
	047	Rio Choapa	
Zona Central	054	Rio Aconcagua	
	057	Rio Maipo	- Marangunic, C. 1979. <i>Inventario de Glaciares, Hoya del río Maipo</i> . Dirección General de Aguas, Publicación G-2, Santiago.
	060	Rio Rapel	- Valdivia, P. 1984. <i>Inventario de glaciares. Hoya del Río Tinguiririca. VI Región</i> . DGA. Publicación interna. - Caviedes, J. 1979. <i>Inventario de glaciares en la hoya del Río Cachapoal y predicción de la escorrentía de deshielo Andes Centrales</i> . Tesis para optar al título de geólogo. Universidad de Chile.
	071	Rio Mataquito	- Noveroy, C. 1987. <i>Inventario de glaciares de la Hoya del río Mataquito</i> . DGA, Publicación interna, EH 87/1, 38.
	073	Rio Maule	- Tapia, G. 2004. <i>Inventario de Glaciares del Río Maule</i> . Informe no publicado, DGA/MOP, Santiago, 41.
	081	Rio Itata	
	083	Rio Bio-Bio	
	091	Rio Imperial	- Rivera, A. 1999. <i>Inventario de glaciares entre las cuencas de los ríos Bio Bio y Petrohué. Su relación con el volcanismo activo: Caso del volcán Lonquimay</i> . Memoria para optar al título de Geógrafo, Universidad de Chile, Santiago, 201.
	094	Rio Tolten	
	101	Rio Valdivia	
	103	Rio Bueno	
104	Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo		

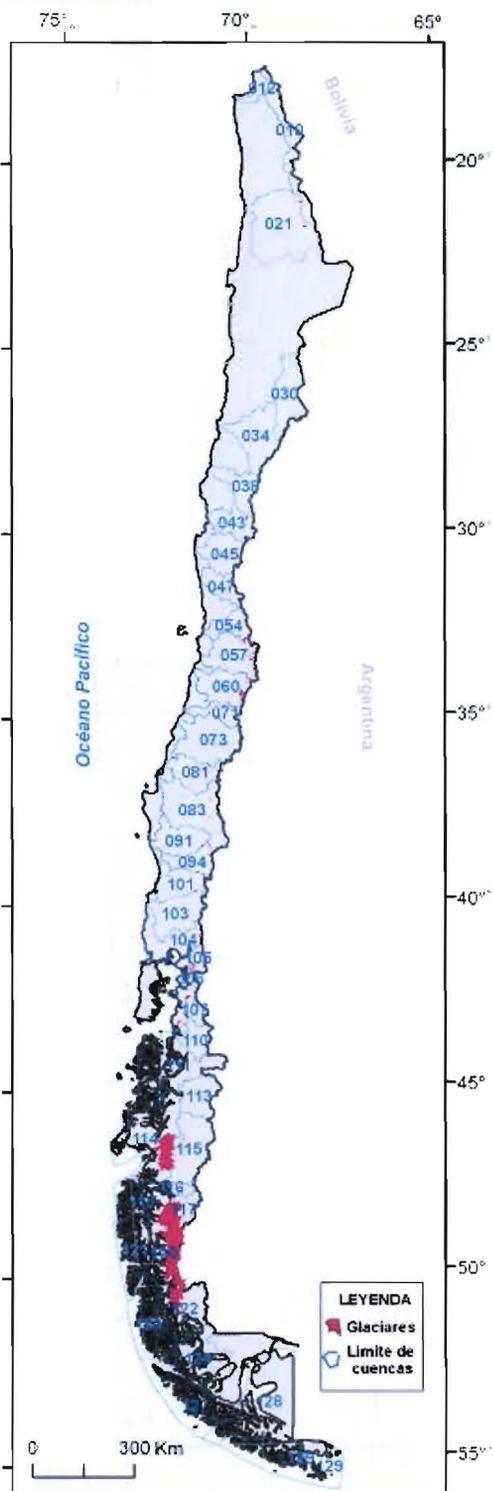
<sup>1</sup> Nota: La columna medio de verificación vacía indica que la cuenca no dispone de inventario.

MACROREGION	CODIGO BNA DE CUENCA	NOMBRE BNA DE CUENCA	MEDIO DE VERIFICACION DISPONIBLE EN EL CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HIDRICOS (CIRH)
	047	Rio Choapa	
Chiloe Continental Aysén	105	Rio Puelo	
	106	Costeras entre R.Puelo y R.Yelcho	
	107	Rio Yelcho	
	110	Rio Palena y Costeras Limite Decima Region	
	111	Costeras e Islas entre R.Palena y R.Aisen	
	113	Rio Aisen	
Campo de Hielo Norte	114	Costeras e Islas entre R Aisen y R Baker y Canal Gral. Martinez	Aniya, M. (1988): Glacier Inventory in the Northern Patagonia Icefield and Recent Glacier Variations. <i>Arctic and Alpine Research</i> Rivera, A., T. Benham, G. Casassa, J. Bamber, & Dowdeswell, J. 2007. Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia icefield, Chile. <i>Global and Planetary Change</i> , 58.
	115	Rio Baker	
	116	Costeras e Islas entre R. Bakery R. Pascua	
Campo de Hielo Sur	117	Rio Pascua	
	118	Costeras entre R. Pascua Limite Region. Archipelago Guayeco	Aniya, M., H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca and G. Casassa, 1996. The Use of Satellite and Airborne Imagery to Inventory Outlet Glacier of the Southern Patagonia Icefield, South America. <i>Photogrammetric Engineering and Remote Sensing</i> .
	120	Costeras entre Limite Region y Seno Andrew	Casassa, G., Smith, K., Rivera, A. Araos, J. Schirch M. & Schneider C. 2002. Inventory of glaciers in isla Riesco, Patagonia, Chile, based on aerial photography and satellite imagery. <i>Annals of Glaciology</i> , 34:373-378.
	121	Islas entre limite Region y Canal Ancho y Estrecho de la Concepcion	Schneider, C., M. Schnirch, G. Casassa, C. Acuña & Killian, R. 2007. Glaciology at Gran Campo Nevado (53°S), Chile—Part II: glacier inventory and glacier change during recent decades. <i>Global and Planetary Change</i> 58.
	122	Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e Islas al oriente	
	123	Islas entre Canales Concepcion, Sarmiento y E. de Magallanes	
Austral : Peninsula Muñoz Gamero	124	Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alti. Laguna Blanca	
Austral: Isla Santa Ines	127	Islas al Sur Estrecho de Magallanes	
Austral : Cordillera Darwin	128	Tierra del Fuego	
Austral : Isla Hoste	129	Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Antartico	

Figura 1: Cuencas de montaña con Glaciares



## CUENCAS CON GLACIARES EN CHILE



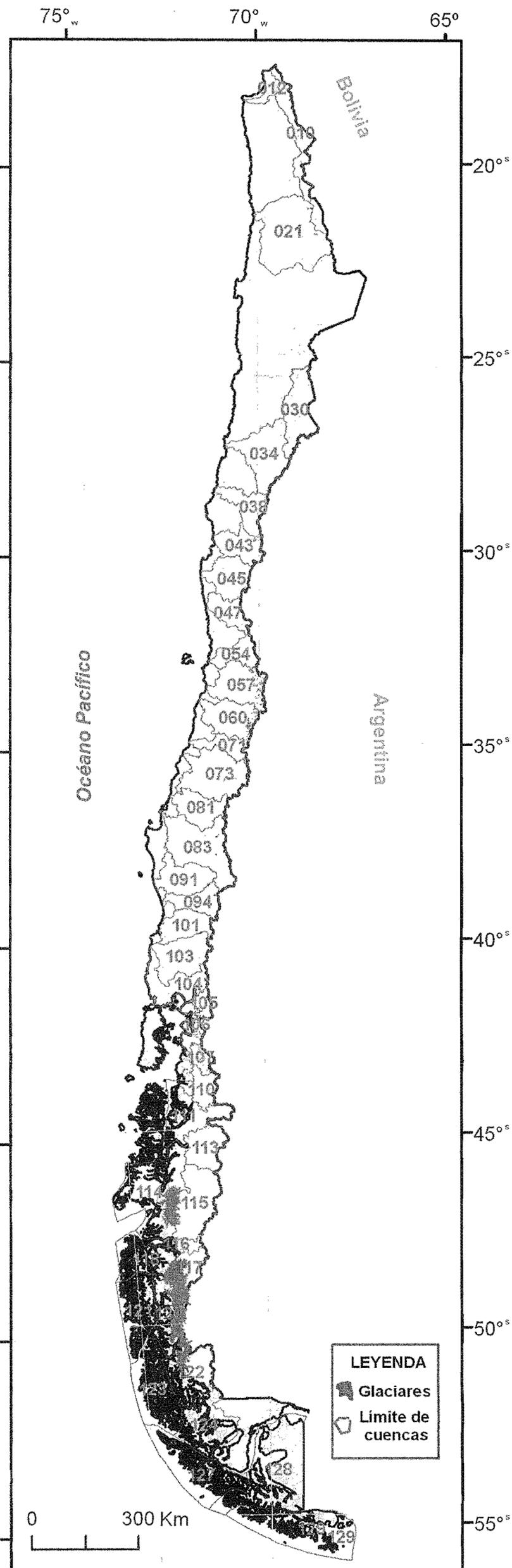
Código del Banco Nacional de Aguas (BNA) y nombre de cuencas con glaciares

CODIGO BNA CUENCA	NOMBRE BNA DE CUENCA
010	Altiplanicas
012	Rio Lluta
021	Rio Loa
030	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacifico
034	Rio Copiapo
038	Rio Huasco
043	Rio Elqui
045	Rio Limari
047	Rio Choapa
054	Rio Aconcagua
057	Rio Maipo
060	Rio Rapel
071	Rio Mataquito
073	Rio Maule
081	Rio Itata
083	Rio Bio-Bio
091	Rio Imperial
094	Rio Toltén
101	Rio Valdivia
103	Rio Bueno
104	Cuencas e Islas entre R Bueno y R. Puelo
105	Rio Puelo
106	Costeras entre R Puelo y R Yelcho
107	Rio Yelcho
110	Rio Palena y Costeras Limite Decima Region
111	Costeras e Islas entre R Palena y R Aisen
113	Rio Aisen
114	Costeras e Islas entre R Aisen y R Baker y Canal Gral. Martínez
115	Rio Baker
116	Costeras e Islas entre R. Baker y R. Pascua
117	Rio Pascua
118	Costeras entre R. Pascua Limite Region. Archipiélago Guayeco
120	Costeras entre Limite Region y Seno Andrew
121	Islas entre limite Region y Canal Ancho y Estrecho de la Concepcion
122	Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e Islas al oriente
123	Islas entre Canales Concepcion, Sarmiento y E. de Magallanes
124	Costeras e Islas entre R. Hollemberg, Golfo Aite, Laguna Blanca
127	Islas al Sur Estrecho de Magallanes
128	Tierra del Fuego
129	Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Antartico



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

## CUENCAS CON GLACIARES EN CHILE



### Código del Banco Nacional de Aguas (BNA) y nombre de cuencas con glaciares

CODIGO BNA CUENCA	NOMBRE BNA DE CUENCA
010	Altiplanicas
012	Rio Lluta
021	Rio Loa
030	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacifico
034	Rio Copiapo
038	Rio Huasco
043	Rio Elqui
045	Rio Limari
047	Rio Choapa
054	Rio Aconcagua
057	Rio Maipo
060	Rio Rapel
071	Rio Mataquito
073	Rio Maule
081	Rio Itata
083	Rio Bio-Bio
091	Rio Imperial
094	Rio Tolten
101	Rio Valdivia
103	Rio Bueno
104	Cuencas e Islas entre R.Bueno y R. Puelo
105	Rio Puelo
106	Costeras entre R.Puelo y R.Yelcho
107	Rio Yelcho
110	Rio Palena y Costeras Limite Decima Region
111	Costeras e Islas entre R.Palena y R.Aisen
113	Rio Aisen
114	Costeras e Islas entre R Aisen y R Baker y Canal Gral. Martinez
115	Rio Baker
116	Costeras e Islas entre R. Baker y R. Pascua
117	Rio Pascua
118	Costeras entre R. Pascua Limite Region. Archipelago Guayeco
120	Costeras entre Limite Region y Seno Andrew
121	Islas entre limite Region y Canal Ancho y Estrecho de la Concepcion
122	Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente
123	Islas entre Canales Concepcion, Sarmiento y E. de Magallanes
124	Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca
127	Islas al Sur Estrecho de Magallanes
128	Tierra del Fuego
129	Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Antartico