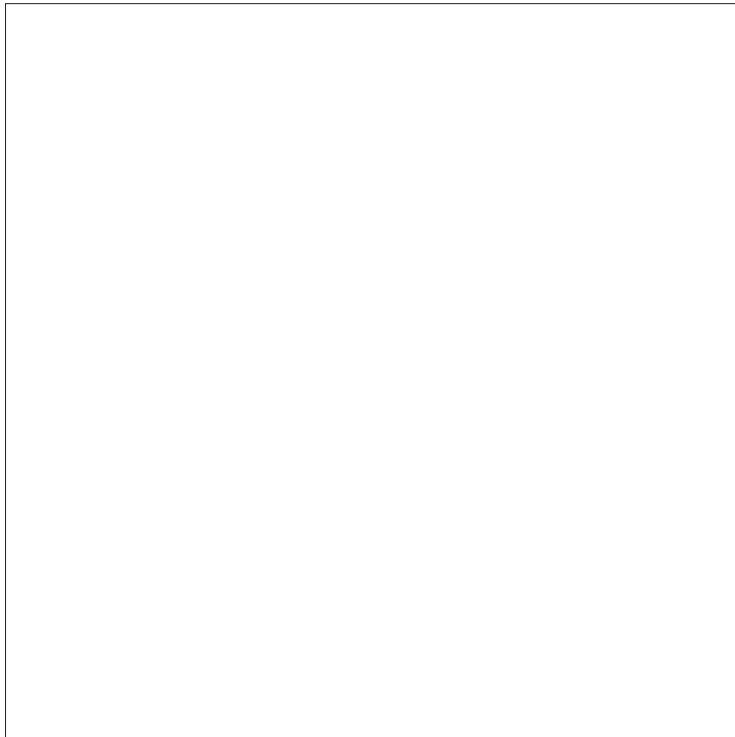


# Glaciares Chilenos

---

Reservas Estratégicas de Agua Dulce  
Para la Sociedad, los Ecosistemas y la Economía



Autora: Roxana Bórquez G.

Preparado para Programa Chile Sustentable

Santiago, Agosto 2006



# La importancia estratégica de los glaciares



CAPÍTULO

**1**



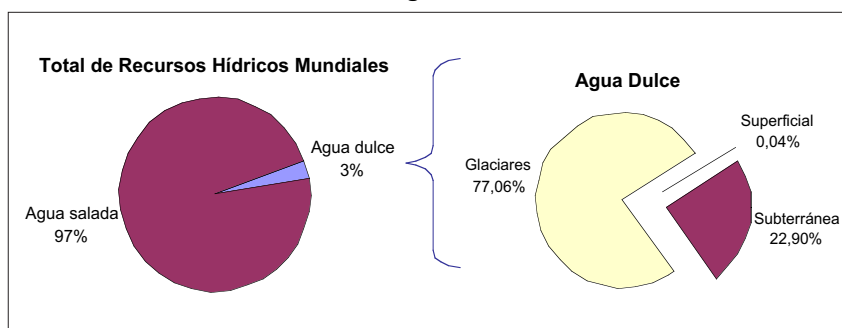
# 1. La importancia estratégica de los glaciares

## 1.1- Los glaciares: reservas de agua dulce

El agua dulce, corresponde sólo al 2% del total de agua existente en el planeta. El agua es el elemento esencial para la sobrevivencia y el desarrollo de los seres humanos y de los ecosistemas continentales. De ese 3% de agua dulce un 77,06% está congelada (Global Water Partnership -GWP, 2000), en los polos o en los glaciares de latitudes medias. Estos glaciares presentes en zonas de montaña juegan un rol fundamental en la regulación hídrica de las cuencas, y son un factor importante en el abastecimiento humano en regiones que presentan grandes densidades poblacionales, y que frecuentemente se ven enfrentadas a períodos de escasez de agua.

Más del 97% de los recursos hídricos mundiales (ver Figura 1) corresponden a agua salada. El 3% restante corresponde a agua dulce, su volumen se estima en aproximadamente 37 millones de km<sup>3</sup>; un 77,06% de ella está congelada ya sea en polos o glaciares de latitudes medias<sup>1</sup> (28,51 millones de km<sup>3</sup>), un 22,9% se encuentran subterráneamente (8,47 millones de km<sup>3</sup>) y solamente el 0.04%, equivalente a 15.000km<sup>3</sup>, aparece superficialmente en ríos y lagos (Diez-Cascón, 2003). Se estima que un volumen de 42.750 km<sup>3</sup> se renuevan anualmente (Global Water Partnership-GWP, 2000). Es así como el agua disponible para el abastecimiento humano es mínima en comparación con el volumen total del recurso, situación que se prevé será crítica si se considera que la demanda por agua en el futuro aumentará a tasas de 2% al 3% anual.

Figura 1



<sup>1</sup> También llamados Glaciares de zonas montañosas.

Chile es un país montañoso donde el 70% de la población se abastece del agua proveniente de las zonas alto-andinas. La Cordillera de los Andes el cordón montañoso más importante del país, posee gran cantidad de glaciares, fuentes de agua congelada que, gracias a su proceso de acumulación y derretimiento, abastecen a los ecosistemas, a la población y a las actividades productivas del país.

En Chile es posible encontrar glaciares en toda la zona cordillerana, desde las regiones del extremo norte hasta el extremo sur del territorio nacional. La zona norte y centro del por sus condiciones climáticas, presentan periodos estivales muy secos o épocas de sequía prolongada en las cuales los glaciares son fundamentales para el mantenimiento del caudal de los ríos debido a que justamente en estos periodos generan las mayores tasas de derretimiento<sup>2</sup>. En la zona sur y austral del país, donde existen abundantes precipitaciones durante gran parte del año, y donde en general no existen grandes problemas en el abastecimiento de agua, los glaciares no son determinantes para el abastecimiento poblacional y las actividades productivas, pero si para los ecosistemas locales y para el análisis y generación de conocimientos sobre el cambio climático y el aumento del nivel de los océanos.

A nivel mundial el aumento de conflictos en torno al acceso al agua, producto de su escasez o contaminación, han creado una conciencia sobre la importancia del cuidado y mantenimiento de las diversas fuentes naturales de este recurso, entre ellas los glaciares. Los cuales además sufren efectos adversos producto del calentamiento global. La preocupación por la situación futura de los glaciares en Chile se genera por la reciente amenaza de que han sido objeto por proyectos mineros y debido a los altos grados de vulnerabilidad de las reservas de agua dulce en zonas andinas a los que se han visto enfrentadas estas fuentes de agua dulce debido al retroceso de los glaciares, particularmente en latitudes medias, los posibles efectos del cambio climático y a las intervenciones directas e indirectas de los proyectos productivos, principalmente mineros, que se desarrollan en zonas alto andinas. En nuestro país no existe una normativa que proteja los glaciares y regule las actividades desarrolladas en las zonas donde éstos se encuentran cercanas.

---

<sup>2</sup> Los glaciares presentan respuesta inversa al déficit hídrico, ya que en periodos secos y con menor caída de nieve aflora el hielo más antiguo y sucio, provocando menor reflectancia, con lo cual el glaciar absorbe más energía solar, ocasionando un mayor derretimiento. Al contrario, los años en que la nieve caída es mayor, la reflectancia aumenta, disminuyendo la fusión y la escorrentía de agua (Milana, 1998).

## 1.2- Proyecciones de demanda de agua dulce a nivel mundial

El aumento demográfico, los patrones de consumo, el incremento de la producción y la insuficiente protección de este recurso a nivel mundial han provocado un aumento de la contaminación de las aguas, una mayor competencias por éstas y una degradación progresiva del medio ambiente.

Al analizar la distribución mundial del agua las cifras muestran que ésta se reparte desigualmente en las diversas regiones del planeta. Asia cuenta con el 32% del total de agua disponible, América del Sur con el 28%, América del Norte con un 18%, y la suma de África, Europa y Oceanía, en conjunto, sólo un 22% (Global Water Partnership -GWP, 2000). El que Asia y América del Sur posean el 60% del total de agua dulce disponible mundialmente, podría hacer pensar que los problemas y grados de conflictividad en ambas regiones son mínimos; sin embargo su desigual distribución territorial provoca situaciones críticas. Un análisis por países en América del Sur muestra que Paraguay cuenta con 57.720 m<sup>3</sup>/hab/año, unas 37 veces más agua que Perú, país que cuenta con sólo un promedio de 1.548 m<sup>3</sup>/hab/año, lo cual corresponde a una situación crítica, acercándose a los umbrales mínimos que ha establecido Naciones Unidas y muy por debajo de las cantidades mínimas presentadas por otras instituciones. Las cifras que conocemos a nivel país también muestran el promedio de la realidad nacional, por tanto la situación interna local de cada nación puede ser mucho más crítica en algunas zonas y más holgada en otras.

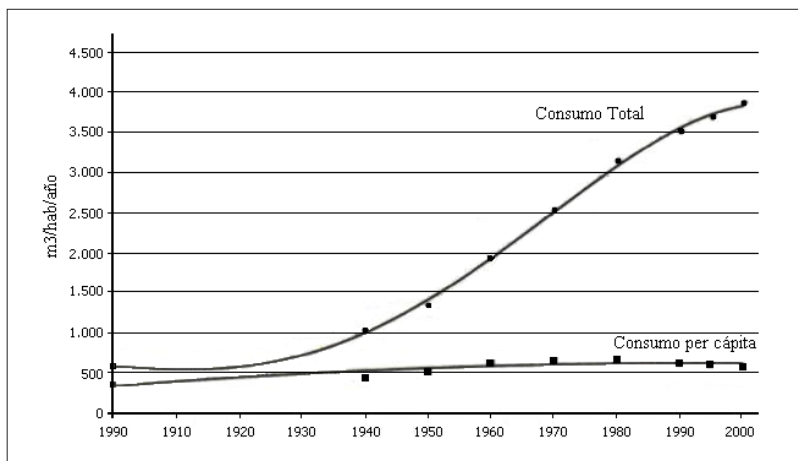
Como muestra el Cuadro 1, en la primera treintena del siglo XX el consumo de agua a nivel mundial se mantuvo con pocas variaciones, semejante al consumo per cápita, pero desde 1930 se ha provocado un aumento progresivo, generado entre otros motivos, por la diversificación masiva de actividades productivas que necesitan altos volúmenes de agua para su desarrollo. Al analizar las tendencias del incremento del consumo humano de agua versus el aumento demográfico de la población, queda latente que el crecimiento de ambos ha sido dispar, ya que si bien la población mundial se ha cuadruplicado durante el siglo XX<sup>3</sup>, el consumo de agua se ha sextuplicado<sup>4</sup> (Gleick, 1998; Global Water Partnership (GWP) y Technical Advisory committee (TAC), 2000).

---

<sup>3</sup> En 1900 la población mundial era aproximadamente de 1.600 millones de habitantes y en 1995 se incrementó a alrededor de 6.000 millones de habitantes.

<sup>4</sup> Sólo en los 40 últimos años del siglo XX el consumo aumentó aproximadamente 2.000 km<sup>3</sup>.

**Cuadro 1:**  
**Consumo de agua total y per cápita a nivel mundial**



Fuente: gráfico extraído de Gleick (1998)

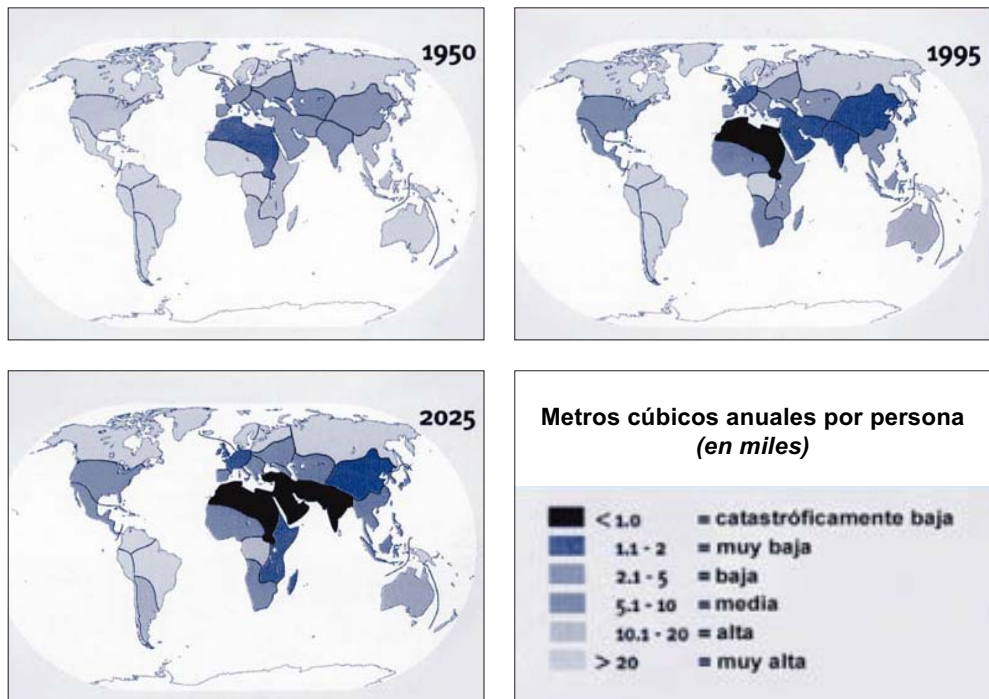
El recurso agua no tiene sustitutos de ningún tipo, esto ha provocado una creciente preocupación pues actualmente 31 países, ubicados principalmente en África y cercano oriente, se encuentran es condición de estrés o tensión hídrica<sup>5</sup>. Adicionalmente, por lo menos un tercio de la población mundial ya ha presentado conflictos sociales, políticos, económicos o ambientales cuya causa principal es la cantidad o calidad de los recursos hídricos disponibles. Para el año 2025 se estima que el 35% de la población mundial, correspondiente a 48 países con un total aproximado de 2.800 millones de habitantes, estarán en la categoría países con “escasez de agua”<sup>6</sup>, y aproximadamente el 70% de la población mundial presentará diversos grados de conflictividad (Hinrichsen, Robey y Upadhyay, 1998). La Figura 2 exhibe una secuencia del cambio en el escenario mundial de disponibilidad de agua per cápita entre los años 1950 a 1995, y sus proyecciones para el año 2025. En las imágenes es posible notar que las regiones y las zonas gris claro muestran buena disponibilidad de agua,

<sup>5</sup> Un país tiene estrés o tensión hídrica cuando el suministro anual de agua dulce renovable está entre los 1.000 y 1.700 m³/hab. Esos países probablemente experimenten condiciones temporales o limitadas de escasez de agua (Hinrichsen, Robey y Upadhyay, 1998; Global Water Partnership-GWP, 2000).

<sup>6</sup> Si bien existen variadas opiniones, el consenso de los científicos a llevado a considerar las cifras presentadas por las Naciones Unidas que indican que un país tiene escasez de agua cuando el suministro anual de agua dulce renovable es inferior a 1.000 m³ por persona. Los países con esta condición posiblemente experimenten condiciones crónicas y extendidas de escasez de agua que han de obstruir su desarrollo (Hinrichsen, Robey y Upadhyay, 1998; Global Water Partnership-GWP, 2000).

pero a medida que el color gris se oscurece presentan mayores problemas de escasez hasta llegar al color negro, que corresponde a una disponibilidad catastróficamente baja. La secuencia de imágenes refleja el progresivo problema de escasez hídrica que ha sufrido el planeta a través del tiempo, siendo alarmantes las proyecciones para el año 2025.

**Figura 2**  
**Mapa mundial de la variación de disponibilidad de agua por habitante**



Fuente: UNESCO, 1999

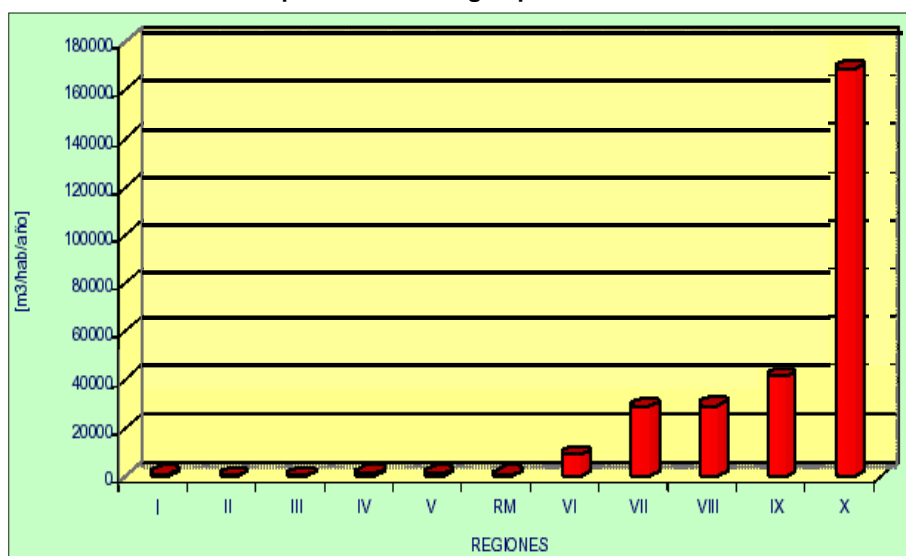
El escenario actual y futuro muestra un consumo de agua que está por sobre los niveles capaces de ser sustentados, ya que se debe tomar en cuenta que el agua disponible en el mundo no es sólo necesaria para la población humana, sino que para todas las especies y ecosistemas del planeta.

Además de los altos niveles de consumo es fundamental considerar los altos grados de contaminación que presentan las diversas fuentes de recursos hídricos producto de los desechos que generan las distintas actividades humanas y los conflictos generados por el uso de recursos compartidos entre país.

### 1.3- Proyecciones de demanda de agua dulce a nivel nacional

Si bien América del Sur cuenta con un 28% del agua disponible a nivel mundial, la distribución de este recurso no es homogénea en los países de la región, ya que existen amplias zonas en Chile, Argentina, Bolivia, Perú y Brasil, con condiciones áridas y semiáridas (Global Water Partnership-GWP, 2000). En Chile estas diferencias son evidentes, como se observa en la Figura 3, ya que mientras entre la I y la III Región del país la disponibilidad aproximada de agua es de 500 m<sup>3</sup>/hab/año, cifra considerada internacionalmente restrictiva; en ñas regiones del sur del país la disponibilidad puede sobrepasar los 9.000 m<sup>3</sup>/hab/año, muy por sobre los umbrales internacionales (Brown y Saldivia, 2000; Dirección General de Aguas, 1999).

**Figura 3**  
**Disponibilidad de agua por habitante**

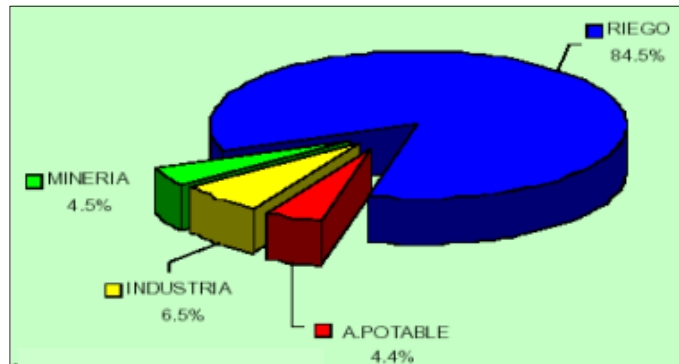


Fuente: Dirección General de Aguas, 1999.

En Chile, el análisis territorial de los tipos de uso que se le da al agua, según el último balance hídrico de la Dirección General de Aguas (1999), muestra que la agricultura ocupaba el 84% de la demanda total del recurso de uso consuntivo (ver Figura 4), sólo disminuyendo en las zonas extremas del país donde compite en mayor grado con la minería e industria. En el caso del consumo de agua potable los valores son más equilibrados y mucho menores que los correspondientes a las actividades productivas. Si se compara con el consumo en países desarrollados o aquellos con similares niveles de desarrollo, el

consumo de Chile está muy por sobre las tasas extranjeras, reconociéndose que las demandas de agua existentes generan una extraordinaria presión sobre los recursos hídricos.

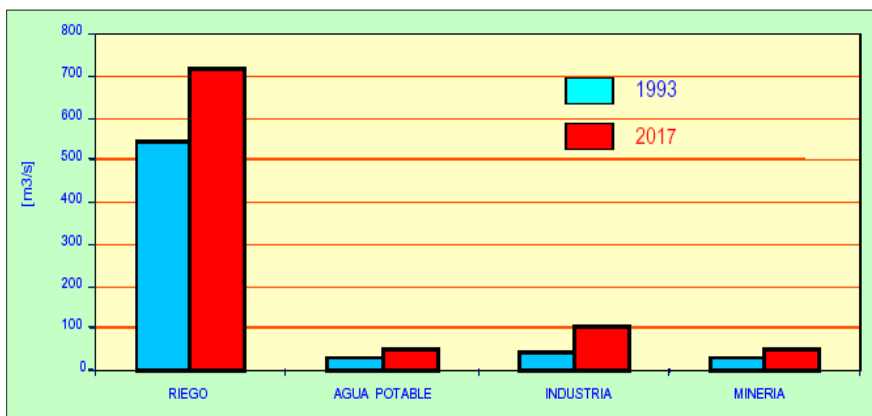
**Figura 4**  
**Demanda actual de recursos hídricos en Chile según actividad productiva**



Fuente: Dirección General de Aguas, 1999.

Actualmente en algunas regiones del país se utiliza el total de la disponibilidad natural de agua (Programa Chile Sustentable, 2004), cifra que preocupa al tener en cuenta las proyecciones realizadas en 1999 por la Dirección General de Aguas que estima que para el año 2017 las diversas actividades productivas y el consumo humano aumentarán al doble y en un 20% el uso de agua para riego, esperándose condiciones altamente restrictivas para algunas actividades económicas y para la protección de los ecosistemas.

**Figura 5**  
**Proyecciones de la demanda nacional de recursos hídricos al año 2017**



Fuente: Dirección General de Aguas, 1999.

Para el 2025 las proyecciones continúan la misma tendencia, pero tienden a ser más discretas, ya que en el caso del riego se estima que entre los años 1995 y 2025 se incorporarán 114.270 nuevas hectáreas y se mejorará la infraestructura de riego de otras 236.000 hectáreas ya existentes, con los consiguientes nuevos requerimientos de agua que harán aumentar entre un 9% y un 15% el consumo actual para este fin<sup>7</sup>, debido principalmente a una mayor eficiencia en el uso de este recurso. En el caso del agua potable se prevé para el 2025 un aumento poblacional de un 28,5% con respecto al 2000<sup>8</sup>, y un crecimiento de la demanda por agua potable de 19,4%. En el caso de la minería e industria, que evolucionan en forma similar al producto interno bruto, provocarán un aumento de la demanda que será limitado regionalmente justamente por la disponibilidad de agua, pero cuyas cifras serán mucho mayores a las demás formas de uso (Brown y Saldivia, 2000).

La disponibilidad de agua per cápita por región del país (en Cuadro 2), muestra claramente que para los próximos 20 años disminuirá la disponibilidad de agua por habitante, estimándose que entre el año 2000 y el 2025 se reducirá en un 22,26% aproximadamente, porcentaje que genera una gran preocupación ya que Naciones Unidas (1994, citado por Global Water Partnership-GWP, 2000) considera que 1.000 m<sup>3</sup>/hab/año es el valor umbral que genera escasez de agua crónica “suficiente para impedir el desarrollo y afectar seriamente la salud humana”.

---

<sup>7</sup> La demanda bruta de agua en 1995 de 17.275 Hm<sup>3</sup>/año y las proyecciones para el año 2025 variarán entre 18.916 Hm<sup>3</sup>/año y 20.557 Hm<sup>3</sup>/año (Brown y Saldivia, 2000).

<sup>8</sup> Las cifras se calcularon según los datos extraídos de Brown y Saldivia (2000) que indican una población al 2000 de 15.211.308 habitantes y para el 2025 una población estimada de 19.548.956.

**Cuadro 2:  
Disponibilidad de Agua en Chile**

Región	Disponibilidad de recursos renovables per cápita (indicador Falkenmark)		
	[m3/hab/año]		
	2000	2005	2025
I	1.280	1.190	929
II	311	293	240
III	656	608	468
IV	2.452	2.295	1.841
V	1.224	1.161	983
RM	730	682	544
VI	8.759	8.247	6.779
VII	27.589	26.521	23.773
VIII	27.116	25.814	22.206
IX	37.551	35.764	30.814
X	153.150	145.743	125.274
XI	3.362.822	3.143.550	2.508.208
XII	2.023.658	1.955.320	1.795.419
<b>Total per cápita país</b>	<b>60.998,52</b>	<b>57.509,66</b>	<b>47.414,61</b>

Fuente: Brown y Saldivia (2000).

Según las cifras de la ONU, tres regiones del país, incluida la Región Metropolitana, ya en el año 2000 estuvieron bajo los mínimos aceptables. Para el año 2025 esta cifra bajo mínimos aceptables aumenta a 5 regiones (I, II, III, V y Región Metropolitana).

Las zonas más críticas se encuentran desde la I Región hasta la Región Metropolitana; en ellas se advierte una evolución decreciente de la disponibilidad, tendencia observable también a nivel país.

Entre 1990 y 2002 la extracción de aguas subterráneas aumentó en un 160% debido a que los caudales superficiales fueron incapaces de abastecer las demandas actuales por el recurso, principalmente en el norte del país, donde la Pampa del Tamarugal y Copiapó son los sectores de mayor extracción a nivel nacional (Brown y Saldivia, 2000; Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos-OCDE- y Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL, 2005). De incrementarse la explotación de acuíferos subterráneos sin lograr su adecuada recarga se provocará un aumento de los niveles de escasez de agua, acrecentando los problemas que ello acarrea.

La preocupación por la escasez del agua ha aumentado, es así como la Política Nacional de Recursos Hídricos elaborada por la Dirección General de Aguas

(1999) expresa que las demandas actuales por agua generan una extraordinaria presión sobre los recursos hídricos, viéndose reflejada en las diversas cuencas desde la Región Metropolitana al norte, donde las demandas por el recurso superan el caudal disponible.


Es en estas regiones donde existe mayor escasez de agua, por lo que el aporte de las nieves y glaciares comienza a tomar gran preponderancia, ya que se conjugan tres factores:

- 1) Ríos con origen nival, que generan aumento de caudales en periodos de primavera-verano, donde el clima árido y semiárido presenta su mayor agudeza producto de la ausencia de precipitaciones estivales (excepto entre los 18° y 23° latitud sur, en donde se desarrolla el invierno altiplánico).
- 2) Mínimo aporte de las precipitaciones producto de la variación latitudinal de éstas (disminución progresiva de precipitaciones desde el sur al norte del país).
- 3) Variado aporte de las precipitaciones en una misma región debido a la variación altitudinal de éstas, teniendo como producto lluvias reducidas hacia la costa y en aumento hacia la Cordillera de los Andes<sup>9</sup>, en donde se encuentran los glaciares, generando una mayor acumulación de nieves, y con esto, un aumento de aporte a los caudales aguas abajo.

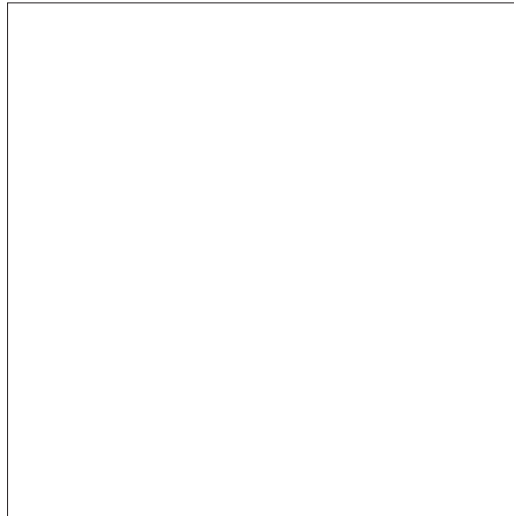
Por lo tanto, si se considera que la población del país se distribuye principalmente desde la costa hasta los 1.000 m.s.n.m., al analizar la situación del norte y centro de Chile, se desprenden condiciones de baja precipitación concentradas en meses de invierno principalmente en la cordillera, generando largos periodos anuales de sequía, por lo que el aporte de nieves y glaciares es fundamental para abastecer los acuíferos superficiales y subterráneos, con el consecuente abastecimiento de los ecosistemas y la población aguas abajo.

---

<sup>9</sup> Los climas de la III y VI regiones son un ejemplo. La III Región de clima desértico, presenta precipitaciones que aumentan según latitud y altura, siendo más abundantes en la zona cordillerana, por sobre los 2.000 (Dirección Meteorológica de Chile, s.a.). La VI Región muestra una zona costera con precipitaciones que pueden variar entre los 500 y 800 mm/año, con una estación seca prolongada (7 a 8 meses), una depresión intermedia que disminuye levemente sus precipitaciones, con respecto a la anterior y cuya estación seca tiene las mismas características, y una zona cordillerana, por sobre los 800 m.s.n.m., cuyo relieve provoca grandes variaciones en el clima, con un aumento de la precipitación a cerca de 1.000 mm anuales, contando con una estación seca que sólo se prolonga por 4 o 5 meses, con precipitación invernales principalmente sólida (Dirección Meteorológica de Chile, s.a.).



# **Glaciares: Definición y estado del conocimiento científico en Chile**



**CAPÍTULO**

**2**





## **2. Glaciares: Definición y estado del conocimiento científico en Chile**

### **2.1- Definición y caracterización.**

Actualmente la Real Academia de la Lengua Española define al glaciar como una “masa de hielo acumulada en las zonas de las cordilleras por encima del límite de las nieves perpetuas y cuya parte inferior se desliza muy lentamente, como si fuese un río de hielo”.

La definición científica más usada en Chile es la presentada por Lliboutry (1956) que indica como glaciar a “toda masa de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, cualquiera sean sus dimensiones y su forma (...) que fluye bajo su propio peso hacia las alturas inferiores”. Algunos estudios advierten que la nieve estacional o invernal también puede presentar flujo, que pueden existir masas de hielo perenne de grandes dimensiones que no presentan flujo y que los glaciares activos pueden llegar a estancarse (Marangunic, 1979a).

Años después indica que “en general se entiende por glaciar a una acumulación sobre tierra, de hielo perenne que fluye lentamente por reptación debido a su propio peso hacia alturas inferiores” (Garín, 1986), que como se observa no difiere mucho de la definición realizada por Lliboutry (1956).

La búsqueda de una definición más adecuada al contexto nacional deja latente que la mayoría de las publicaciones científicas sobre glaciares que es posible encontrar en el país no presentan definiciones y si lo hacen, exponen lo antes enunciado por Lliboutry (1956) con la complementación de Marangunic (1979a), posiblemente debido a que tratan temas glaciológicos más complejos. Por ello uno de los desafíos es el unificar criterios que hagan posible comprender “qué es lo que se entiende por glaciar”, que permita posteriormente una correcta identificación de ellos.

A partir del año 2005, y como consecuencia de la preocupación nacional por el intento de remoción de glaciares por parte de la minera canadiense Barrick Gold, para desarrollar su proyecto Pascua Lama en la zona cordillerana de la Comuna de Alto del Carmen en la III Región del país, se desarrollaron dos iniciativas parlamentarias de proyectos de ley para la protección de glaciares, la primera desde la Cámara de Diputados<sup>10</sup>, y la segunda desde el Senado<sup>11</sup> (Cuadro 3).

---

<sup>10</sup> Realizada por el ex Diputado Leopoldo Sánchez que “establece la prohibición de ejecutar proyectos de inversión en glaciares” (2005).

<sup>11</sup> Realizada por el Senador Antonio Horvath titulada “Proyecto de Ley sobre valoración y Protección de los glaciares” (2006).

**Cuadro 3**  
**Definiciones de glaciares en Chile**

Iniciativa	Definición de Glaciares
<b>Cámara de Diputados</b>	Sin definición.
<b>Cámara de Senadores</b>	Ecosistemas constituidos por grandes masas de hielo, con o sin agua intersticial, de límites bien establecidos, originados sobre la tierra por metamorfismo a hielo de acumulaciones de nieve, y que fluyen lentamente deformándose bajo el influjo de la gravedad y según la ley de flujo de hielo, y por un lento deslizamiento sobre el lecho basal si el hielo está a 0°C. En las masas de hielo existen una variada cantidad de impurezas, esencialmente de material detrítico, desde virtualmente imperceptibles hasta algo más de 20%; el material detrítico es principalmente de origen rocoso, en tamaño desde grandes bloques a finas partículas de arcilla, que caen desde las laderas sobre el glaciar o son llevadas por el viento y se incorporan a las masas de nieve y hielo, y también fragmentos erosionados en la base del glaciar e incorporados al hielo de su base. El detrito rocoso puede cubrir íntegramente un glaciar. Una parte menor de detrito en los glaciares suele ser orgánico (fragmentos y especímenes enteros) y provienen principalmente del arrastre eólico hasta la superficie del glaciar donde se incorpora a la masa de hielo. En algunos glaciares existe toda una biodiversidad propia de este ecosistema.
<b>Ecologistas-SNA-IGM</b>	Toda masa de hielo perenne que fluye lentamente, con o sin agua intersticial formado sobre la tierra por metamorfismo a hielo de acumulaciones de nieve, ubicados en diferentes ecosistemas, cualquiera sea su forma”, siendo “parte constituyente de cada glaciar el material detrítico rocoso y lagunas que se encuentren en su superficie.

En la última definición se integra a glaciares de roca y cubiertos y además se considera al cuerpo de hielo como parte constituyente del ecosistemas en donde se emplaza, entregándole valores ambientales y escénicos necesarios para la conservación de la biodiversidad, el abastecimiento de las cuencas hidrográficas y la recarga de cauces superficiales y aguas subterráneas, simplificando y clarificando la definición y variadas funciones y características de los glaciares.

## 2.2- Origen de los glaciares chilenos

El origen de los glaciares de latitudes medias en la Cordillera de los Andes se debe a dos grandes factores, el primero, la elevación tectónica de dicha cordillera comenzada en el Neógeno y, segundo, las grandes fluctuaciones de las temperaturas mundiales ocurridas en el Cuaternario (últimos 2 mil millones de años), provocando las edades glaciares e interglaciares. En resumen, la elevación de los Andes generó un macizo montañoso de gran altura que luego,

debido a las últimas glaciaciones del Cuaternario, permitieron la formación de glaciares en las regiones altas de las zonas templadas, manteniéndose hasta hoy debido a las bajas temperaturas presentes en los sectores altoandinos. Posterior a esto, en la época actual, una fase relevante para los cuerpos de hielo corresponde a la Pequeña Edad de Hielo, producida entre los siglos XV y XIX, considerada como el último periodo de enfriamiento de la tierra, con disminución de temperaturas terrestres de entre 0,6°C y 1°C, provocando avances importantes de los glaciares en el mundo (Villagrán, 1991; Alonso, 2005).

La formación de glaciares se debe al proceso de transformación de nieve a hielo, conocido como diagénesis. Dicho proceso se genera por apisonamiento de hielo en sucesivos estratos de acumulación, con su consiguiente pérdida de burbujas de aire, aumentando la densidad de los granos que lo constituyen, pasando de textura suave y esponjosa a granular y más dura (Rivera, 1990).

Existen diversos factores que influyen en la formación y mantención de un glaciar y que los hacen responder de forma distinta a estímulos del medio, entre ellos, los factores topográficos, como la hipsometría de las cuencas (altitudes de una cuenca) y la geometría de los valles. Los factores glaciodinámicos, como la velocidad del hielo, los ciclos de calving<sup>12</sup>, surges<sup>13</sup>, entre otros; y los factores climáticos, como la temperatura, precipitación y línea de nieve. Todos estos factores configuran un sistema glaciar-clima-topografía dinámico y complejo (Escobar *et al.*, 1995; Acuña, 2001).

Los glaciares pueden ser clasificados según variados aspectos. Existen categorías utilizadas con mayor frecuencia:

*Según Morfología o forma:* islandis<sup>14</sup>, glaciares de piedmont<sup>15</sup>, glaciares de valle<sup>16</sup>, glaciares en calota<sup>17</sup>, glaciares de cráter o entorno convergente<sup>18</sup>,

---

<sup>12</sup> Cuando el frente del glaciar está en contacto con el agua, perdiendo gran parte de su masa con el desprendimiento de témpanos.

<sup>13</sup> Incremento repentino de la velocidad de un glaciar producido por la transferencia brusca, a veces catastrófica, de la masa glaciar de una zona activa superior a la zona estanca inferior.

<sup>14</sup> Gran masa de hielo que cubre un continente, por ejemplo, Antártica y Groenlandia.

<sup>15</sup> Glaciares cordilleranos con alimentación abundante que permite la penetración de una lengua en el piedmont, esparciendo su caudal de hielo en forma de abanico.

<sup>16</sup> Presentas varias zonas de acumulación que confluyen hacia un valle, más ancho y largo.

<sup>17</sup> Ocupan la cima de un centro montañoso, teniendo una distribución radial que es típica de encontraren algunos volcanes, como es el caso del Volcán Osorno y Paríacota.

<sup>18</sup> Ubicados en una depresión topográfica en forma de cráter, rodeados por montañas que impide evacuación superficial del hielo. Ejemplo: Volcán Lonquimay.

glaciares de montaña<sup>19</sup>, glaciares de circo<sup>20</sup>, glaciaretos<sup>21</sup> (Rivera, 2005; Centro de Estudios Científicos y Universidad de Chile, s.a.).

*Según dinámica:* glaciares activos, pasivos e inactivos, los primeros presentan un flujo rápido de las masas de hielo, con buena alimentación y balance de masa positivos; los pasivos tienen un flujo lento, generalmente se encuentran en retroceso y los inactivos no presentan movimiento, con nula alimentación, conocidos también como relictos glaciares (Rivera, 1990).

*Según clima* de la región en que se ubican (Lliboutry, 1956), encontrándose del tipo ecuatorial<sup>22</sup>, tropical<sup>23</sup>, subtropical<sup>24</sup> (algunos de los Andes centrales), temperado<sup>25</sup> (alpino), subpolar húmedo<sup>26</sup> (Campos de Hielo Norte y Sur), subsolar seco<sup>27</sup>, polar (hielo continental: Antártica), Sheff (glaciar flotante).

Para el caso chileno, este libro prioriza dos clasificaciones que permiten caracterizar de mejor forma los glaciares presentes en el país; ubicados principalmente en la Cordillera de los Andes; cosa que no se logra con las categorizaciones presentadas anteriormente, la primera. Por esa razón los clasificaremos según estructura interna y según estado térmico.

*Según Estructura Interna*, que divide a los glaciares del país en tres tipos, principalmente según el grado y magnitud de presencia de fragmentos detríticos (roca, tierra, polvo) y la forma en que éstas se distribuyen en el glaciar, en este caso es posible clasificarlos en glaciares descubiertos, cubiertos y de roca.

Los glaciares descubiertos se rigen principalmente según la definición de Lliboutry (1956) “toda masa de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, cualquiera

---

<sup>19</sup> Glaciares localizados en las partes altas de la cordillera.

<sup>20</sup> Aquellos que ocupan una depresión semicircular generada por la erosión glaciar, rodeada por flancos montañosos de gran pendiente que culminan en cumbres o cordones del tipo “aretas”.

<sup>21</sup> Corresponde a pequeñas masas de nieve que es posible encontrar en diversos sectores cordilleranos y pueden deberse a nieve que perdura por algunos años, pueden no evidenciar flujo, es prácticamente inactiva.

<sup>22</sup> Precipitación distribuida durante todo el año, que se conjuga con una gran nubosidad y humedad ambiental y la transformación de nieve a hielo es rápida debido a la congelación y recongelación del agua intersticial.

<sup>23</sup> Fuertes precipitaciones durante todo el año, pero son más abundantes en una sola temporada. Ejemplo: Himalayas

<sup>24</sup> Fuertes precipitaciones en invierno, con veranos secos, fuerte radiación solar y altas cumbres enteramente despejadas. En los Andes centrales existen buenos ejemplos de este tipo de glaciares.

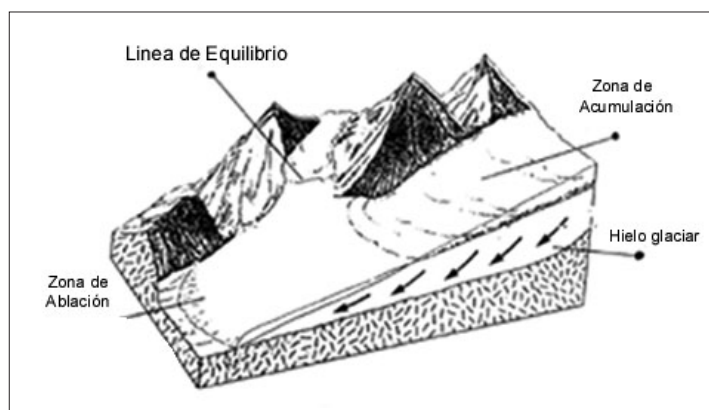
<sup>25</sup> Con precipitaciones durante todo el año, que permiten la abundante y extensa formación de neveros.

<sup>26</sup> Corresponde a grandes campos de hielo cubierto por extensas capas de neviza, formados debido a las fuertes precipitaciones durante todo el año y la ablación es reducida. Ejemplo: hielos patagónicos.

<sup>27</sup> Casquetes de hielo extensos y profundos.

sean sus dimensiones y su forma (...) que fluye bajo su propio peso hacia las alturas inferiores”, siendo los más conocidos y estudiados por la comunidad científica, ya que una de sus características principales es que son totalmente visibles (ver Figura 6), por tanto su identificación se vuelve menos compleja. Suelen presentar una pequeña proporción de material detrítico e impurezas debido a la acción del viento o al desprendimiento de las laderas cercanas. A grandes rasgos, los glaciares descubiertos o expuestos presentan una depositación en forma de neviza, poseen una zona de acumulación o alimentación y una zona de ablación, que en ocasiones son difíciles de identificar dada la complejidad del cuerpo de hielo. Es posible encontrarlos en todo el territorio nacional, pero tienen mayor envergadura en la zona austral, donde se encuentran grandes campos de hielo.

**Figura 6**  
**Glaciar descubierto**



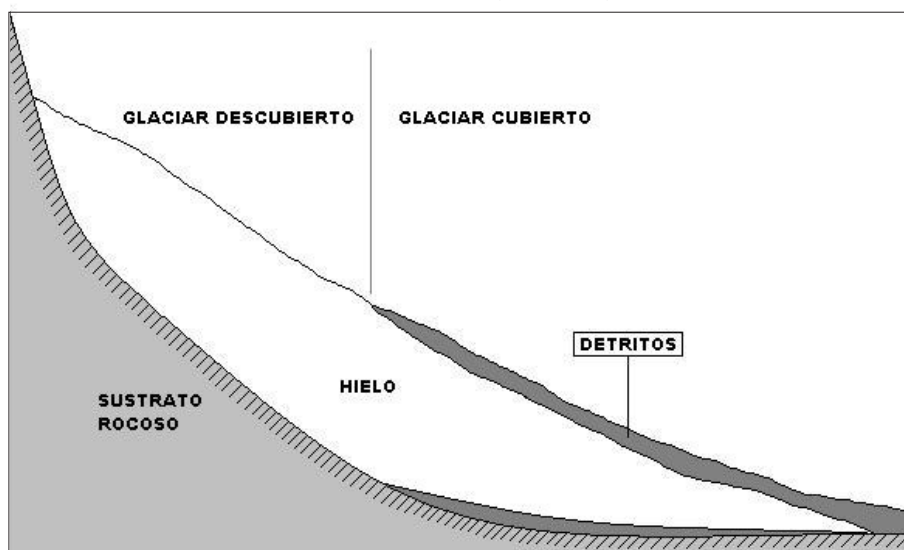
*Fuente: Laboratorio de Glaciología del Centro de Estudios Científicos y de la Universidad de Chile ([www.glaciologia.cl](http://www.glaciologia.cl))*

Los glaciares cubiertos, tienen como principal característica el encontrarse bajo una capa detrítica que actúa de aislante. Este tipo de glaciar tiene su origen en un glaciar descubierto que luego de un proceso de deslizamiento de rocas es tapado por la cubierta detrítica. Estos glaciares son considerados como parte inicial del proceso de transformación gradual de un glaciar descubierto a un glaciar de roca (Caviedes, 1979), llamado también glaciar de roca glaciogénico<sup>28</sup>

<sup>28</sup> No se profundizará en esta diferenciación según origen de formación de glaciar de roca, ya que aun existen discrepancias entre diversos autores, sin embargo es importante mencionarlo para clarificar los procesos a los que se ven sometidos los glaciares. Es así como algunas publicaciones extranjeras dividen a los glaciares de roca en criogénicos (ice-cement type) y glaciogénicos (ice-core type), los primeros deben su origen a la acumulación de caída de detritos y nieve en un circo y los segundos a la depositación de una cubierta detrítica, permitiendo la transformación gradual de un glaciar descubierto a uno de roca debido a la incorporación progresiva, en la masa de hielo, de los fragmentos detríticos que forman la cubierta (Croce y Milana, 2002).

(Croce y Milana, 2002). Estos glaciares pueden seguir acumulando nieve en la parte superior, dando origen a un glaciar descubierto en la parte alta, y a un glaciar cubierto, en la parte baja (ver Figura 7).

**Figura 7**  
**Glaciar descubierto que da origen a un glaciar cubierto**

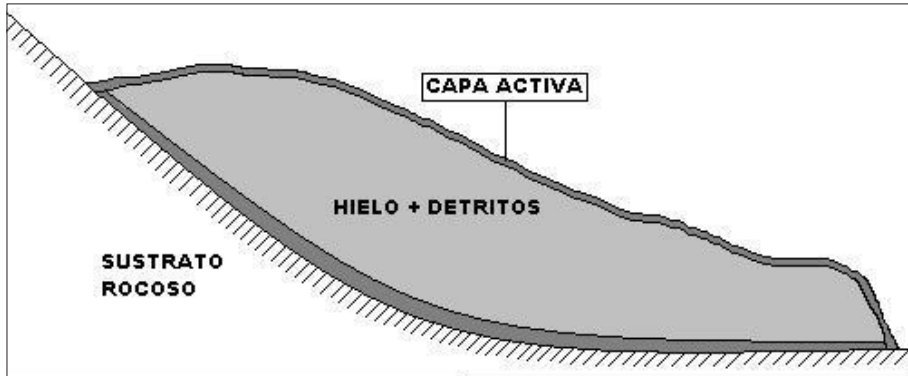


Fuente: elaboración propia a partir de Milana y Maturano, 1999.

Los glaciares de roca, (ver Figura 8) son sistemas dinámicos, muy complejos, en donde los fragmentos de roca de diversos tamaños se encuentran mezclados con porciones de hielo que pueden ser de envergadura, constando de un suelo con núcleo congelado o *permafrost*<sup>29</sup> y una capa activa, correspondiente a una capa superior que tiene congelamiento y descongelamiento estacional (Naveroy, 1987; Milana y Güell, 2005). La capa activa tiene un rol hidrológico importante ya que, debido a que los detritos superficiales poseen textura abierta, actúan como acumulador de agua, permitiendo que los glaciares de roca puedan almacenar agua precipitada, por congelamiento, y liberarla en forma de flujo continuo durante los meses estivales, otoño y parte del invierno (Corte, 1983, citado por Croce y Milana, 2002). En la Figura 9 se puede observar que presentan una cubierta completa de detritos.

<sup>29</sup> Permafrost es una capa del suelo que se encuentra permanentemente congelado.

**Figura 8**  
**Glaciar de Roca**



*Fuente: elaboración propia a partir de Milana y Maturano, 1999; Ferrando, 2003; Milana y Güell, 2005.*

**Figura 9**  
**Fotografía del Glaciar de Roca Ortigas 1, Valle del Huasco, III Región, Chile.**



*Fuente: Milana, 2005*

Este tipo de glaciares es considerado como uno de los cuerpos de hielo más importantes en las cuencas hídricas de zonas áridas de alta montaña, constituyendo importantes reservas hídricas potenciales (Croce y Milana, 2002). Los glaciares de roca, además de ser reservorios de agua a largo plazo, también cumplen un rol a corto plazo, siendo fundamentales para el régimen fluvial de las cuencas andinas, debido a que a inicios del invierno, cuando disminuyen

las temperaturas, el cuerpo de permafrost (suelo congelado) crece debido a la retención de agua infiltrada de la fusión diurna, las avalanchas y las precipitaciones, formando parte del hielo subterráneo y luego, en el periodo estival se derrite, volviendo a incorporarse al ciclo hidrológico de la cuenca (Brenning, 2003).

Si bien el contenido de hielo es menor en los glaciares de roca en comparación al que poseen los glaciares descubiertos, su mayor distribución superficial en la zona norte y centro de Chile, los convierte en reservas hídricas fundamentales (Marangunic, 1979a; Brenning, 2003). Pese a ello han sido poco estudiados por los científicos: un ejemplo de esto es que en la zona norte del país no se han realizado catastros de este tipo de glaciares, sino sólo investigaciones específicas en algunos de estos cuerpos de hielo (Ferrando, 2003). El desconocimiento sobre este tipo de glaciares limita bastante el diagnóstico nacional, ya que si se analizan los catastros que incluyen registros de glaciares cubiertos y de roca, estos muestran que del total de glaciares presentes en la Región Metropolitana, la mitad de ellos son de este tipo, disminuyendo a un 17 % en la cuenca del Cachapoal y a un 3% más al sur, haciendo notar su poca presencia en el sur y su progresivo aumento hacia el norte del país.

*Según estado Térmico* de la masa glaciar: glaciares fríos, templados y politermales (Rivera, 1990; Centro de Estudios Científicos y la Universidad de Chile, s.a.)

Los Glaciares Fríos poseen una temperatura de hielo inferior a 0°C en la zona de acumulación, y la ablación es muy escasa, su formación es lenta, ya que no existe fusión superficial. En Chile<sup>30</sup> este tipo de glaciares se encuentra principalmente en la Cordillera de los Andes de la zona norte<sup>31</sup>, debido principalmente a que la altura de la Cordillera permite la localización de glaciares a gran altura, donde las temperaturas promedio se encuentran entre -15 y -20°C.

Los Glaciares Templados, son aquellos cuya masa se encuentra a temperatura de fusión de hielo y que varía según la presión a que está sometida (dependiendo del espesor de hielo, su densidad y la aceleración de gravedad a la que está expuesta). La mayor parte de los glaciares chilenos responden a esta característica, desde el centro del país, hasta Campos de Hielo Sur.

---

<sup>30</sup> El casquete de hielo Antártico tiene carácter frío, pero no se considerará para efectos de este estudio dado que se descontextualiza a las finalidades de éste debido a que está normado bajo el Tratado Antártico.

<sup>31</sup> Es posible encontrar algunos glaciares de este tipo en la zona austral de Chile, donde la característica de glaciar frío se deben, en parte, a la latitud y a las condiciones locales del lugar en que se emplaza el cuerpo de hielo, y no a la altitud de la Codillera de los Andes.

Los Glaciares Politermales, poseen una masa de hielo que se encuentra a temperatura bajo los 0°C (característico de los glaciares fríos), pero que en la base de la lengua terminal puede alcanzar temperaturas cercanas al punto de derretimiento, lo que genera una fusión estival pequeña. En el norte de Chile hay glaciares politermales, fríos en la parte superior y templados en la inferior, aunque desde el sur de la IV y V región, esta característica es más marcada. En definitiva, entre la I Región de Tarapacá y la Región Metropolitana, la Cordillera de los Andes tiene una altura promedio de 5.000 m.s.n.m. disminuyendo progresivamente hacia el sur, demostrando por un lado, la existencia de glaciares fríos en la zona centro-norte del país, ya que estos se sitúan en las cumbres cordilleranas, donde las temperaturas disminuyen a medida que la altura del macizo montañoso aumenta y, por otro, la transición existente hacia glaciares politermales y templados, a medida que se avanza hacia el sur. Sin embargo se debe hacer notar que no existen límites claros para la diferenciación térmica de los glaciares, que estará determinada en primera instancia, por la altitud, y en segunda, por la latitud en que se encuentran.

Esta clasificación es de gran importancia en la actualidad, ya que será la que determiné la influencia que el cambio climático global puede tener sobre los glaciares del país. Los glaciares fríos se verán más influenciados por la variación de las precipitaciones que por los aumentos globales de temperatura, ya que aunque la temperatura mundial se incremente en 1°C o 2°C, por su ubicación a grandes alturas la isoterma cero estará por debajo de la ubicación del glaciar y no será el factor de su derretimiento. El derretimiento o retroceso de glaciares fríos esta principalmente determinado por una menor acumulación de nieve (debido a la disminución de las precipitaciones) y no por un aumento de las temperaturas del planeta. A diferencia de estos, los glaciares templados que se encuentran ubicados generalmente a menor altura y por ello, influenciados por pequeñas variaciones de temperatura, provocan un aumento de las tasas de derretimiento, pues no se logra equilibrar la acumulación de nieve producto de las precipitaciones con el aumento de temperatura que los derrite, generando su retroceso.

### **2.3- Función de los glaciares.**

Los glaciares son fundamentales para los ecosistemas circundantes como para los que se encuentran aguas abajo, proveen agua a las actividades agrícolas, industriales y a los asentamientos humano, prestando una serie de servicios ambientales tanto locales como regionales.

Una de las funciones más directas de los glaciares es determinar el clima local, que se ve influenciado e incluso modificado debido a la retroalimentación propia del sistema glaciar. Esta relación es recíproca ya que el clima y las propiedades físicas del hielo pueden determinar el comportamiento de los glaciares, y este a su vez determinar algunas características locales del clima regional (Acuña, 2001).

Cada 100 metros de altura en la montaña, la temperatura desciende 0,5 °C, llegando a representar altitudinalmente una concentración de bandas climáticas latitudinales. En el caso de nuestro hemisferio sur, por cada cien metros de elevación en la Cordillera de los Andes, el efecto que se produce sobre el clima es similar a haber recorrido 150 kilómetros en dirección al polo sur en línea recta (Saffer, 2000). La variable altitudinal de estos cuerpos montañosos incidirá notablemente en los ecosistemas que albergan, ya que las limitantes pluviométricas, las variaciones de temperatura, la exposición solar, los tipos de suelo y rocas permitirán constituir verdaderas islas respecto a su ambiente biogeográfico (De Pedraza, 1997). Además del gran espectro climático los factores de diversidad topográfica en las montañas generan una gran variedad de microclimas que permiten un desarrollo ecosistémico muy diverso con microambientes y endemismos de importancia.

Los glaciares juegan un rol importante en la configuración ecosistémica de alta montaña, ya que son las fuentes abastecedoras de agua de los sistemas altoandinos principalmente en épocas de déficit hídrico, dando sustento a bofedales, lagos, lagunas y otros sistemas acuáticos terrestres. Un ejemplo de lo anterior se muestra en la Figura 10 donde se observan dos imágenes en las que es palpable la importancia que tienen los glaciares para los ecosistemas altoandinos.

**Figura 10**

**Glaciares como fuentes abastecedoras de agua para los ecosistemas altoandinos**



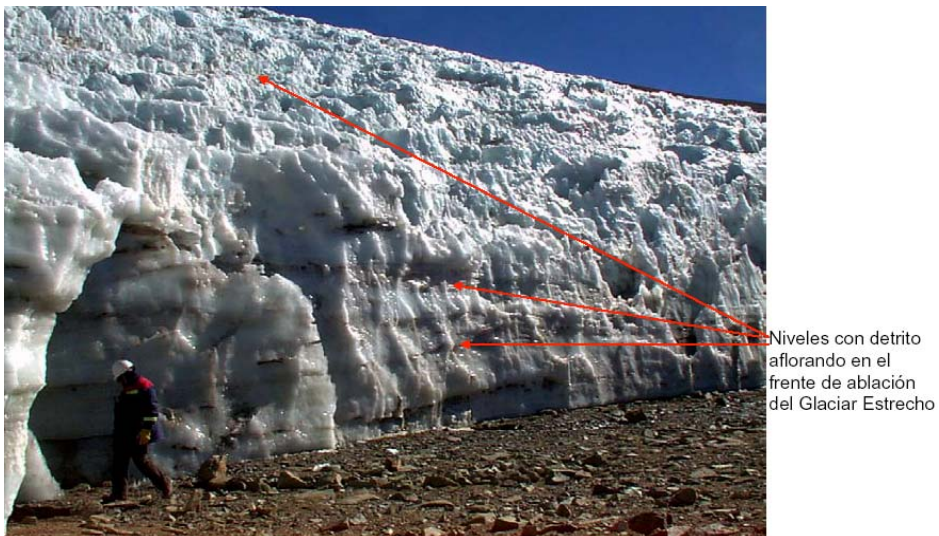
*Afluyente nacido del glaciar Guanaco, zona cordillerana de la Comuna de Alto del Carmen, Provincia de Vallenar, III Región.*



*Volcán Parinacota con el Lago Chungará a su falda, I Región, en el Parque Nacional Lauca a unos 4.500 m.s.n.m.*

Los glaciares son fuentes de agua capaces de regular el régimen hídrico de las cuencas, ya que acumulan nieve en los periodos de mayores precipitaciones, y le aportan a las cuencas en estaciones más secas principalmente en períodos de déficit hídrico, logrando ser, junto con las aguas subterráneas y las obras de acumulación realizadas por el hombre, las únicas formas de abastecer a la población, las ciudades y la agricultura aguas abajo. Así, los glaciares son fuentes principales de abastecimiento en periodos estivales o de sequía, pues presentan una respuesta inversa durante las épocas de déficit hídrico, aportando mayor cantidad de agua en periodos de sequía. En años con menor caída de nieve aflora a la superficie el hielo más antiguo y sucio, con menor reflectancia, que absorbe más energía y se derrite produciendo más agua. Al contrario, en años en que la nieve caída es mayor, la reflectancia aumenta y disminuye la fusión aportando menor cantidad de agua a los caudales (Milana, 1998). La Figura 11 muestra la fotografía de uno de los frentes del glaciar Estrecho (Valle del Huasco, II Región) donde se observan las capas con acumulación de suciedad o material particulado, notándose una mayor acumulación en la base del glaciar (parte más cercana al suelo).

**Figura 11**  
**Niveles de detritos aflorando en el frente de ablación,**  
**Glaciar Estrecho, Valle del Huasco, III Región**



Fuente: Milana, 2005.

Recientemente se ha mencionado en Chile la posibilidad de sustituir un glaciar con la construcción de un embalse, ya que éste cumpliría la misma función de regulación hídrica, pero esta suposición es errónea. Si bien un embalse puede

proveer agua a la población durante un año de sequía, no logrará hacerlo a través de varios años de escasez, como ocurrió durante la gran sequía de la década del '60 que afectó por casi 7 años al norte chico y centro del país. Abastecimiento que sí lograron mantener los glaciares existentes en la zona cordillerana del Valle del Huasco. Estos, si bien disminuyeron su caudal, este nunca se agotó: la gran diferencia existente entre un glaciar y un embalse es que el primero no es mayormente influenciado por una fluctuación interanual para su funcionamiento, como sí ocurre con los embalses.

Un ejemplo de las interacciones que se generan entre glaciares, ecosistemas y comunidades humanas es lo que ocurre en las regiones cordilleranas del norte del país donde los caudales poseen naturalmente un alto contenido de minerales, los cuales son depurados por los humedales que retienen y aportan sedimentos y nutrientes<sup>32</sup>, actuando como filtros naturales para los asentamientos humanos que se encuentran aguas abajo y que reciben las aguas luego de haber sido depuradas por este sistema altoandino.

Los glaciares así proveen estabilidad a los ecosistemas y seguridad en el abastecimiento humano debido principalmente a que funcionan como reguladores hídricos naturales, siendo esenciales en periodos en donde la ausencia de precipitaciones puede provocar pérdidas sustanciales y crisis intensas en los sistemas naturales y en las actividades humanas debido a un estrés hídrico que puede poner en jaque la subsistencia y las actividades económicas en una cuenca o región.

## **2.4- Amenazas globales y locales para la conservación de glaciares**

En la actualidad existen importantes amenazas que ponen en riesgo el futuro de los glaciares: a nivel global hay que destacar los procesos mundiales que provocan la variación de factores determinantes en la formación y mantenimiento de los glaciares, como es el caso del cambio climático, y aquellas amenazas locales que se producen debido a la intervención humana directa en la alta cordillera (como las extracciones mineras), que impactan directa o indirectamente a estos cuerpos de hielo.

---

<sup>32</sup> [www.sustentable.cl/portada/noticias/5091.asp](http://www.sustentable.cl/portada/noticias/5091.asp)

## 2.4-1. Factores Globales

En la historia de la Tierra se han producido muchas alteraciones climáticas, debidas a procesos naturales del planeta, sin embargo la diferencia fundamental entre los procesos que se han presentados naturalmente y los actuales es la velocidad de los últimos como consecuencia, directa o indirecta, de la actividad humana (Oficina Española de Cambio Climático-OECC, Ministerio de Medio Ambiente de España, s.a.). El efecto provocado por la intensa acción antrópica sobre el planeta se manifiesta en una intensificación anormal del efecto invernadero natural, por la alteración de la composición global de la atmósfera<sup>33</sup>.

El Panel Intergovernmental on Climate Change – IPCC - (2001a), institución que lidera los estudios sobre los cambios en el clima global, considera a los glaciares no polares, ubicados en latitudes medias (ver Figura 12), como indicadores físicos de los cambios en la atmósfera, el clima y el sistema biofísico terrestre, debido a la sensibilidad que presentan frente a los cambios del medio. Si bien los glaciares de gran parte de Chile se encuentran en una zona de transición climática que está sometida constantemente a oscilaciones del clima<sup>34</sup>, se han visto igualmente afectados por las alteraciones climáticas que se han presentado en el planeta (Acuña, 2001).



Fuente: elaboración propia a partir de mapa disponible en: [www.suapesquisa.com/mapas/mp-mapa-mundi.jpg](http://www.suapesquisa.com/mapas/mp-mapa-mundi.jpg)

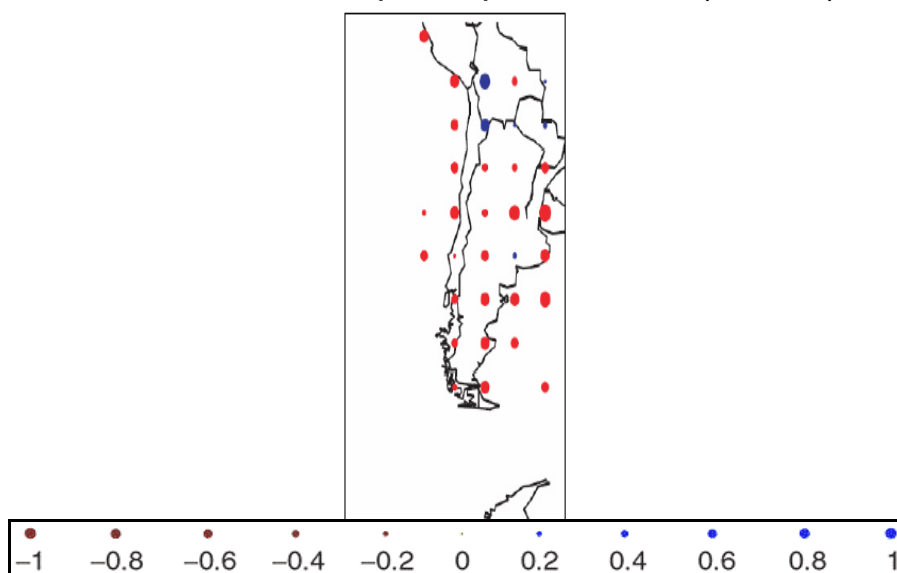
<sup>33</sup> Si bien existe una gran incertidumbre sobre los reales efectos del cambio climático, la información legitimada y validada hasta ahora a permitido que la Convención Marco sobre Cambio Climático proponga medidas basada en el principio precautorio.

<sup>34</sup> Un ejemplo es el fenómeno ENOS (El Niño/Oscilación del Sur).

### 2.4-1.1. Aumento de la temperatura

El calentamiento global ha causado un aumento de las temperaturas a nivel mundial. En nuestro país aun existe discusión sobre los reales efectos del calentamiento sobre el territorio, pero no cabe duda que se ha generado un incremento de las temperaturas, como se muestra en la Figura 13 en donde se señala con círculos rojos las zonas con aumento de temperatura; los círculos de mayor tamaño indican aquellos lugares con un incremento de temperatura superior; en diversos niveles puede constatarse que todo el territorio nacional sufre aumento. Los estudios muestran que esta variación se asocia principalmente a un salto climatológico ocurrido entre los años 1976/1977, donde repentinamente la temperatura del aire aumentó casi 1°C en un año, valor bastante impresionante, ya que en un solo año sucedió lo que se espera que ocurra paulatinamente en 30 (Carrasco, s.a; Aceituno, 2006). Esta variación ha impactado a los glaciares, ya que el aumento de las temperaturas ha elevado la isoterma cero, generando que la temperatura de fusión se ubique a una altura superior provocando el derretimiento de nieves a mayor altura. Esto ha llevado a que gran parte de las investigaciones que relacionan glaciares chilenos con el cambio climático, analizan la respuesta de estos cuerpos de hielo al aumento de las temperaturas.

**Figura 13**  
**Variación Anual de la Temperatura periodo 1901-2000 (°C/década)**



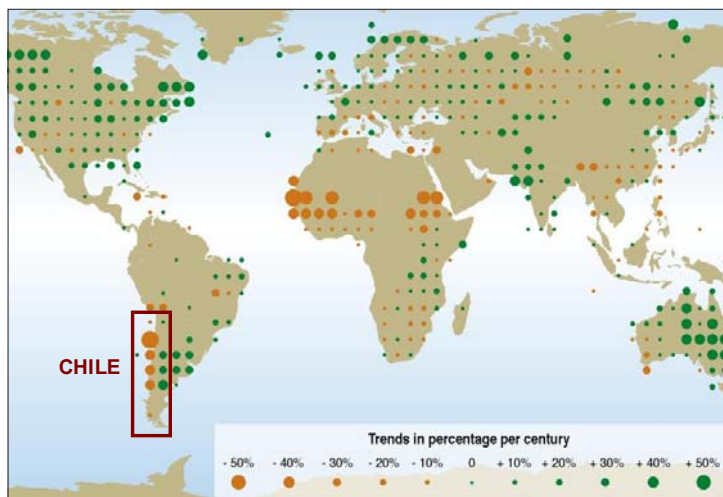
Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001b

De los glaciares ubicados en territorio nacional, los más impactados por los cambios de temperatura son los glaciares templados (centro, sur y zona austral del país), debido a que la masa de hielo se encuentra a temperaturas muy cercanas a las de fusión. Por ello aún tanto pequeños incrementos en la temperatura regional significan tasas de derretimiento mayores que, si no se acompañan por una acumulación de nieve producto de las precipitaciones, traen como consecuencia retrocesos de los cuerpos de hielo. Por esto los procesos climáticos globales constituyen una de las amenazas importantes para la conservación de los glaciares como fuentes perennes de agua dulce.

### 2.4-1.2. Disminución de las precipitaciones

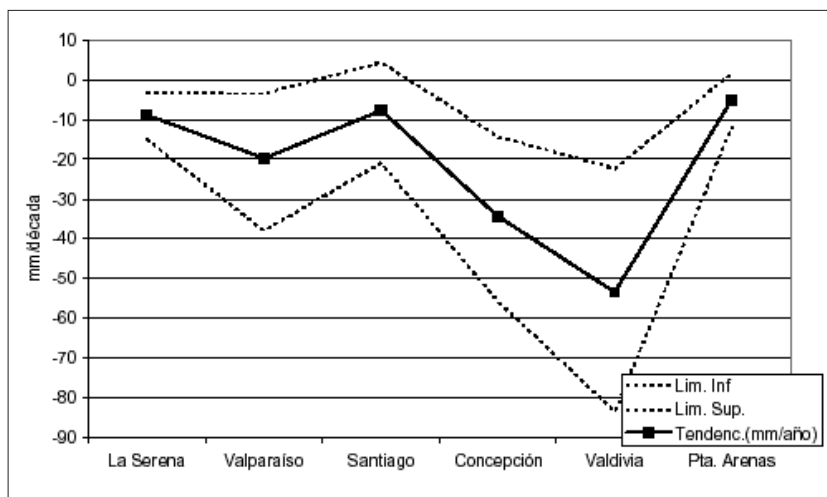
El calentamiento global no sólo ha significado un aumento de las temperaturas mundiales, sino también ha provocado una variación de las precipitaciones, con intensificación de ellas en amplias regiones y una profunda agudización de la sequía en otras. La Figura 14 presenta con círculos naranja los lugares donde las precipitaciones han disminuido y con círculos verde los lugares que han visto un aumento de ellas en los últimos 100 años. Lamentablemente en gran parte del territorio nacional las precipitaciones han disminuido en el último siglo, como se observa en el gráfico de la Figura 15, el cual muestra en cuantos milímetros ha disminuido la precipitación en distintas ciudades del país desde 1900.

**Figura 14**  
**Variación Anual de precipitación periodo 1900-1999**



Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001c

**Figura 15**  
**Tendencia de la precipitación anual en algunas ciudades de Chile**  
**(mm/década) durante el período 1900-2000**



Fuente: Carrasco, s.a.

Si consideramos que en la zona norte el retroceso o avance de los glaciares esta condicionado a los niveles de acumulación de nieve y que la tendencia muestra una disminución de las precipitaciones; es evidente que existe y se acentuará un impacto negativo para los cuerpos de hielo de las zonas áridas y semiáridas de la zona norte, provocando que el balance entre lo que se derrite y lo que se acumula año a año tienda a generar retrocesos en los glaciares.

Por ello es fundamental considerar los procesos climáticos globales como una de las amenazas importantes para la conservación de los glaciares y para mantener las funciones que estos cumplen en el abastecimiento de los ecosistemas y las comunidades humanas.

#### **2.4-2. Factores Locales que impactan a los glaciares.**

Los glaciares son sistemas dinámicos, abiertos, que presentan gran sensibilidad a las variaciones del medio y a las intervenciones directas o indirectas de los seres humanos, por lo tanto el desarrollo de actividades en zonas de la alta cordillera, donde se encuentran estos cuerpos de hielo, pueden afectarlos negativamente, provocando retrocesos a veces irreversibles.

### **2.4-2.1. Actividad turística invasiva**

El paisaje de montaña y las zonas de glaciares son atractivos muy cotizados por el turismo y esta actividad puede generar un gran impacto si son realizados en forma no regulada e invasiva.

Una actividad turística realizada a pie o en esquís, en la cercanía del cuerpo de hielo o en sus alrededores, puede proveer grandes ganancias al negocio turístico y no provocar gran impacto sobre el glaciar y su medio, pero si ésta se desarrolla masivamente sobre el glaciar y además con el uso de medios de transporte mecanizados o construyendo infraestructura sobre el glaciar o en su cercanía, sin duda generará grandes impactos en el corto y mediano plazo. Un buen desarrollo del turismo en áreas de glaciares, hace necesario que este se desarrolle sin ser invasivo y con regulaciones para asegurar la conservación del glaciar.

### **2.4-2.2. Proyectos mineros desarrollados en la alta cordillera:**

La actividad minera es una de las más invasivas del territorio y sus impactos son irreversibles. Además de remover la superficie terrestre en donde se ubica el yacimiento y sus obras anexas, provocando destrucción de la biodiversidad que ahí habita, extrae recursos naturales no renovables y genera residuos y contaminantes que sobrepasan varias veces la cantidad de mineral procesado. Actividades de este tipo, desarrolladas en áreas cercanas a glaciares, pueden generar un impacto ecosistémico considerable, que se inicia con la construcción de caminos para la exploración, extracción y procesamiento de los mismos.

- a) La construcción de caminos en la alta cordillera comienza en las etapas de reconocimiento, prospección y evaluación, varios años antes de la explotación de los minerales. Al despeje y nivelación del terreno se suma el vertimiento de aceite y arena para lograr una superficie que permita el adecuado paso de vehículos de transporte y que disminuya la acumulación de nieve, afectando considerablemente los flujos hídricos superficiales y generando un gran impacto sobre los ecosistemas cordilleros. La Figura 16 muestra los caminos realizados en la etapa de prospección y evaluación minera, donde se refleja el alto impacto sobre el paisaje, alterando incluso las depositaciones de nieve en las laderas.

**Figura 16**  
**Imagen del impacto de la construcción de caminos**  
**zona cordillerana de la III Región, Octubre 2005**



*Fuente: sobrevuelo zona cordillerana de la III Región, octubre 2005.*

b) Flujo vehicular: Además de los impactos por la realización de caminos, el constante flujo de vehículos (camionetas y camiones principalmente) y maquinaria pesada, genera gran levantamiento de polvo que luego se posa sobre los glaciares oscureciendo su superficie y aumentando su derretimiento. En la Figura 17, se muestra el impacto del polvo sobre el glaciar Esperanza, III Región y la cercanía de los caminos, exploratorios del Proyecto Pascua Lama.

**Figura 17**  
**Imagen del impacto del material particulado producto de la construcción de**  
**caminos y el transporte de vehículos y maquinarias.**



*Fuente: Fotografía viaje a terreno III Región, Comuna de Alto del Carmen, mayo 2005.*

c) Sondajes: Para la realización de los sondajes mineros se necesita construir una plataforma que permita colocar maquinaria pesada para perforar los pozos y extraer las muestras. Estos sondajes son más o menos intensos dependiendo de la etapa de exploración, siendo sólo unos pocos en la etapa de reconocimiento, aumentando en la etapa de prospección y siendo mucho más masivos en la etapa de evaluación de las reservas. En la última etapa exploratoria la intervención se hace más intensiva, realizándose perforaciones más cercanas entre si y que se ubican independientemente a la existencia, o no, de un glaciar, lo que ha llevado a dinamitar el hielo, si es que la perforación tiene que hacerse sobre el glaciar, para generar la plataforma que permita la colocación de la maquinaria adecuada.

d) La fase de explotación minera, trae consigo la habilitación de caminos, construcción de infraestructura adecuada, tronaduras para la extracción del material, chancado y un transporte constante de camiones de gran envergadura, entre otras. Todas estas actividades provocan (a pesar de las medidas de mitigación), el levantamiento de cantidades importantes de material particulado que según la dirección y velocidad del viento puede depositarse en los glaciares más cercanos o lejanos del yacimiento, aumentando la cantidad de partículas que naturalmente se depositan sobre ellos, trayendo como consecuencia un aumento del calor superficial y un incremento del derretimiento de los glaciares.

En síntesis la actividad minera ubicada en la alta cordillera puede provocar un gran impacto sobre los glaciares de las zonas cercanas y medias, ya sea por intervención directa, producto de la construcción de caminos, sondajes exploratorios y explotación del mineral, o por la intervención indirecta generada por el levantamiento de polvo y la acción del viento.

### **2.4-2.3. Normativa que estimula la intervención de altas cumbres.**

En Chile no existe ningún marco regulatorio específico que permita darle algún grado de protección a los glaciares, por el contrario se han creado cuerpos legales que estimulan la intervención de las altas cumbres, entre ellos, el Código Minero y el Tratado de Integración y Complementación Minera entre Chile y Argentina.

El Código Minero (1983) indica que toda persona puede catar y cavar en tierras de cualquier dominio, sólo limitando la acción en tierras de concesiones mineras ajenas o con aprobación del dueño de terrenos que posean casas, terrenos

plantados con vides o árboles frutales (Artículos 14 y 15), dejando abierto a la exploración y explotación minera casi a todo el territorio nacional. El Código Minero entrega limitaciones vagas que no diferencian los diversos ecosistemas del país, quedando la posibilidad, previa autorización, de realizar explotación minera incluso en parques nacionales, reservas nacionales o monumentos naturales (Artículo 15), comprendiendo no solamente examinar y abrir la tierra para investigar, sino que colocar sobre los predios superficiales las servidumbres que sean necesaria para buscar minerales (Artículo 19). Como también menciona el Artículo 20 “toda persona tiene la facultad de buscar sustancias minerales en terrenos de cualquier dominio, salvo en los comprendidos en los límites de una concesión minera ajena, empleando desde fuera de aquellos, equipos, máquinas o instrumentos, con ese objeto”, pudiendo hacer libremente calicatas y otras labores de explotación (Artículo 113).

Así el Código Minero entrega a los concesionarios total dominio sobre el terreno, independientemente si en él existen glaciares o no, es más, estos no son ni siquiera nombrados dentro de dicho cuerpo legal, lo que ha permitido que proyecto mineros, tanto de empresas públicas como privadas, antes de la entrada en vigencia del actual Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, hayan iniciado la intervención de estas fuentes congeladas de agua, sin evaluación ninguna.

El “Tratado de Integración y Complementación Minera entre las Repúblicas de Chile y Argentina”<sup>35</sup> se firmó el año 1997 por los presidentes Eduardo Frei y Carlos Menen, siendo ratificado por el Congreso Nacional de Chile el año 2000. Como se observa en la Figura 18, este tratado genera una franja de ancho variable sobre la divisoria de aguas de ambos países, cruzando toda la Cordillera de los Andes desde la II Región hasta la XI Región y parte de la XII Región. Su objetivo es facilitar la exploración y explotación de yacimientos ubicados en zonas fronterizas, como por ejemplo, el proyecto Pascua Lama de la empresa canadiense Barrick Gold. RECUERDA SOLICITAR AL CORONEL BRAVO EL ANCHO DE LA FRANJA. PREGUNTAR A LA FISCAL.

**Figura 18**  
**Área de Aplicación**  
**Tratado de Integración y Complementación Minera entre Chile y Argentina**

*Fuente: elaboración a partir del Anexo N° 2 del Tratado de Integración y Complementación Minera (<http://www.difrol.cl/Mapa-anexo11.htm>)*

El Tratado de Cooperación e Integración Minera significa una gran amenaza para los cuerpos de hielo del país, pues abre la posibilidad de desarrollar proyectos mineros en las más altas cumbres, donde se encuentran los glaciares y las nacientes de las aguas, existiendo un alto riesgo de intervención directa o indirecta de ellos y sus ecosistemas. La franja cubierta por el Tratado Minero en la zona cordillerana, a través de el territorio nacional justamente coincide exactamente con en el área donde se ubican la mayor parte de los glaciares. Luego de Pascua Lama de la empresa Barrick Gold en la III Región, Provincia de Huasco, Comuna de Alto del Carmen y Provincia de San Juan en el lado argentino, la Comisión Administradora del Tratado Minero aprobó tres proyectos mineros más:

- 1.- Proyecto El Pachón, de la empresa canadiense Falconbridge, se encuentra a 5 km del yacimiento Los Pelambres en la IV Región.
- 2.- Proyecto Vicuña correspondiente a un yacimiento de oro ubicado en la zona cordillerana de la III Región, entre las Provincias de Copiapó y Huasco, por Chile, y entre las Provincias de San Juan y La Rioja en Argentina. Este yacimiento es de la empresa Deprominsa, filial argentina de la canadiense Tenke M.
- 3.- Proyecto Amos-Andrés, mina de cobre y molibdeno de la empresa anglo-australiana Río Tinto, que se emplazará en la comuna de Putaendo, Provincia de San Felipe, V Región, y la comuna de Salamanca, Provincia de Choapa, IV Región, por el lado Chileno, y la Provincia de San Juan por Argentina.

### 3. Situación de los glaciares en Chile.

#### 3.1- Inventario de glaciares chilenos.

En Chile se han realizado varios inventarios, la mayor parte de ellos datan de la década del '70 y '80, y tienen como base de interpretación las fotografías aéreas de las zonas catastradas. La información recopilada de los diferentes estudios hasta hoy realizados muestra un total de 1.745 glaciares, que suman un área de 16.890,82 km<sup>2</sup> (ver Cuadro 4). Según Rivera *et al.*(2000) falta por inventariar una superficie estimada de 5.205 km<sup>2</sup>, que sumada al área ya catastrada representan aproximadamente una superficie de 22.062 km<sup>2</sup> de glaciares en Chile. El análisis nacional sobre los glaciares distingue cuatro macro-zonas: Zona Norte, Zona Centro, Zona Sur y Zona Austral.

**Cuadro 4**  
**Inventario de glaciares a nivel nacional**

Zona	Número de Glaciares	Superficie(km <sup>2</sup> )
Norte	88	148,78

Centro	1.4991.016,33
Sur 82	265,71
Austral 76	15.460
Total	1.74516.890,82

*Fuente: elaboración propia a partir de datos extraídos de Caviedes, 1979; Marangunic, 1979a; Garín, 1987; Valdivia, 1984a; Valdivia, 1984b; Rivera, 1989; Rivera et al., 2000 y Tapia, 2004.*

La zona norte del país (Cuadro 4), posee un área reducida de glaciares en comparación con el centro, sur y la zona austral del país. Sin embargo al momento de interpretar estos datos se debe considerar que en la zona norte no se han realizado catastros que incluyan la identificación de glaciares de roca o glaciares cubiertos. Las investigaciones en dicha zona se han focalizado en algunos cuerpos de hielo y detritos, como es el caso del Glaciar Tapado<sup>36</sup>, ubicado en la IV Región. Aun conociendo la falta de investigaciones sobre glaciares de roca, la comunidad científica si ha consensuado que los glaciares de roca poseen un 50% de hielo en su estructura interna<sup>37</sup> (Marangunic, 1979a), y concuerda en la importancia que poseen estos glaciares para la zona norte del país, por constituir reservas hídricas potenciales para las zonas que se encuentran aguas abajo (Ferrando, 1991; Croce y Milana, 2002). Sin embargo

## Zona Norte

Se considera zona norte en nuestro país al área comprendida entre los paralelos 18° y 32° de latitud sur, entre el cerro Pomerape, I Región, y la cabecera sur del río Choapa, IV Región. En ella es posible diferenciar dos sub-zonas: Norte Grande (I y II regiones) de características áridas, y precipitaciones concentradas en verano, durante el periodo conocido como Invierno Altiplánico, con mayor influencia sobre las zonas altoandinas, en donde se produce la acumulación de nieve y, el Norte Chico (III y IV regiones), de climas árido y semiárido, con precipitaciones durante el invierno y muy influenciados por el fenómeno El Niño / Oscilación del sur (ENSO).

Los glaciares de la zona norte se clasifican como glaciares fríos<sup>38</sup> debido a que en estas regiones la Cordillera de los Andes presenta gran altura, y los cuerpos de hielo suelen estar ubicados por sobre los 4.000 m.s.n.m.<sup>39</sup>, en donde es posible encontrar temperaturas muy bajas debido a que sobre los 3.000 m.s.n.m. estas descienden a valores de -10°C (Brown y Saldivia, 2000). Por ello para este tipo de glaciares tienen mayor relevancia las variaciones de precipitaciones interanuales, que los cambios globales de temperatura. Por esto tanto los fenómenos El Niño y La Niña son los que determinarán principalmente la acumulación de nieve sobre estos cuerpos de hielo perenne.

El catastro de glaciares realizado por Garín (1987), para la zona norte (Cuadro 5), abarca un área descrita de 148,78 km<sup>2</sup>, la que corresponde a superficies de hielo descubierto o expuesto. Actualmente en esta zona no existe mayor conocimiento sobre la existencia de hielos cubiertos o glaciares de roca, evidenciando una brecha de información trascendental sin documentar, más aun si se considera que estos glaciares tienen especial importancia en el abastecimiento hídrico del Norte Chico (Rivera *et al.*,2000).

**Cuadro 5**  
**Inventario de Glaciares de la Zona Norte de Chile<sup>40</sup>**

Región	Glaciares	Glaciaretos <sup>41</sup>	Nevados <sup>42</sup>	Total Área (Km <sup>2</sup> )
Volumen de hielo(km <sup>3</sup> )	Volumen de Agua (km <sup>3</sup> ) <sup>43</sup>			
I	2	2	10	14
II	6	3	5	14
III	28	12	9	49
IV	9	1	1	11
Total	45	18	25	88

Fuente: elaboración propia a partir de datos extraídos por Garín (1987)

Estas zonas englaciadas toman aun mayor importancia si se analizan los ecosistemas altoandinos, en donde los bofedales son fuente de sustento para una diversidad de especies de la flora y fauna considerable que, dado las amplitudes térmicas y condiciones de aridez de la zona, deben soportar condiciones extremadamente limitantes, lo que las hace únicas y muy vulnerables a procesos antrópicos de intervención, pasando a ser un punto clave en el equilibrio ecológico de la región norte.

## Zona Centro

La zona centro, comprende los paralelos 32° y 37° de latitud sur, desde la cuenca del Río Aconcagua (V Región) hasta la cuenca del Río Maule (VII Región), presenta clima semiárido en la parte norte y más templado hacia el sur, con ríos de régimen nivoso y pluvio-nival, por lo que el caudal de la mayoría de los ríos aumentan su caudal en primavera y verano.

Las cuencas principales son: Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito y Maule. Desde el Mataquito hacia el sur, hasta el Petrohué, en la Región de los Lagos, la superficie glaciaria tiende a disminuir respecto a Chile central, ya que la Cordillera de los Andes disminuye en altura. En la zona centro se han inventariado, hasta ahora, un total de 1.499 glaciares (Cuadro 6), con una

superficie de hielo de 1.016,33 km<sup>2</sup> (Rivera *et al.* 2000), la segunda mayor área englaciada después de los Campos de Hielo austral.

**Cuadro 6**  
**Inventarios de glaciares Zona Centro**

Región	Cuenca hidrográfica	N° de glaciares <sup>44</sup>	Superficie (km <sup>2</sup> )
Volumen de Hielo (km <sup>3</sup> ) <sup>45</sup>		Volumen de Agua (km <sup>3</sup> )	
V	Aconcagua	267	151,25
RM	Maipú	647	421,939,3098
VI	Cachapoal	146	222,42
VI	Tinguiririca	261	106,46
VII	Mataquito	81	81,912,29
VII	Maule	97	32,39s/i
Total		1.4991.016,33	82,7898

Fuentes: *Elaboración propia de datos obtenidos en Marangunic (1979a); Caviedes (1979); Valdivia (1984a); Valdivia (1984b); Rivera et al. (2000) y Tapia (2004).*

La cuenca del Aconcagua presenta un total de 267 glaciares, con una superficie de 151,25 km<sup>2</sup>. La altura mínima en donde se localizan estos glaciares corresponde a los 3.519 m.s.n.m., y la máxima a los 3.885 m.s.n.m. (Valdivia, 1984a). No se tienen datos sobre la identificación de glaciares cubiertos o de roca en esta cuenca, aunque su existencia es presumible dado las características de la zona.

El Maipo es uno de los principales ríos de Chile central, abastece la zona con mayor densidad poblacional e industrial del país. La cuenca del Maipo está constituida por las hoyas hidrográficas de los ríos Mapocho, Colorado, Yeso, El Volcán y el Estero San José. De los 647 glaciares inventariados, 326 son de roca o cubiertos sumando una superficie de 164,72 km<sup>2</sup>. Su ubicación se encuentra entre la cota mínima de 3.730 m.s.n.m. y la cota máxima promedio es de 4.203 m.s.n.m. (Marangunic, 1979a). Según Peña y Nazarala (1987) el derretimiento de glaciares en la cuenca del río Maipo es de vital importancia para la mantención de caudales en períodos secos de verano, ya que el aporte de los glaciares representa entre un 30% y un 67% del caudal del río Maipo en meses de sequía. Por lo tanto, el aporte de los glaciares a las cuencas de la zona central es trascendental para el abastecimiento de las áreas aguas abajo. Así lo expresa también Marangunic (1979b), “la fusión de los hielos de los glaciares continentales cordilleranos es la más importante, y virtualmente única, fuente de recarga durante los meses de verano y otoño para los grandes ríos de la región central de Chile, que tienen su origen en la cadena andina”.

Para el río Cachapoal Jaime Caviedes (1979) y Pedro Valdivia (1984a), inventariaron 146 glaciares en la cabecera de cuenca del río Cachapoal, dividido

en 6 sub-cuencas, de los cuales 25 son glaciares de roca, 77 son descubiertos y 44 correspondían a glaciaretos, cubriendo una superficie de 222,42km<sup>2</sup>. La reserva total de agua de estos glaciares es de aproximadamente 18.000 millones de metros cúbicos. REVISAR CIFRAS

La cuenca del río Tinguiririca presenta unas 15 lagunas y numerosas vegas, Valdivia (1984b) inventarió 261 glaciares, con una superficie total de 106.46 km<sup>2</sup> de los cuales 103,2662 km<sup>2</sup> corresponden a glaciares descubiertos y 3,1938 km<sup>2</sup> corresponden a glaciares cubiertos o de roca. La cantidad de glaciares de roca disminuye en esta cuenca con respecto a la cuenca del Maipo y Cachapoal. De la totalidad de glaciares identificados en esta cuenca, sólo el 3% corresponde a glaciares de roca y el 97% corresponde a glaciares de superficie expuesta de hielo. La cota mínima de ubicación de los glaciares en esta cuenca es de 2.200 m.s.n.m., y la cota máxima es de 5.020 m.s.n.m.

El inventario de glaciares de la hoya del río Mataquito fue realizado por Naveroy (1987), identificando 81 glaciares, correspondiente a 31,91km<sup>2</sup>, gran parte de ellos (59,26%), correspondientes a glaciaretos<sup>46</sup>. En esta cuenca la ubicación de los glaciares varía entre la cota mínima de entre los 2.000 y 2.200 m.s.n.m. y la altura máxima varía entre los 4.000 y 4.100 m.s.n.m.

En la cuenca del Maule, con un área englaciada de 32,39 km<sup>2</sup>, sólo 2 de los 97 glaciares identificados son de roca, constituyendo un 1,8% del área cubierta por glaciares. Ello manifiesta nuevamente la disminución de los glaciares de roca a medida que se avanza hacia el sur. La cota promedio mínima de ubicación de los glaciares es de 2.606 m.s.n.m. y la máxima promedio es de 3.950m.s.n.m.

## **Zona Sur**

La zona sur del país, ubicada entre los paralelos 37° y 42° de latitud sur, entre el río Itata (VIII Región) y el río Petrohué (X Región), presenta un régimen de precipitaciones mucho más intenso, el cual se incrementa a medida que aumenta la latitud; por ello los ríos, en su mayoría, presentan caudales de origen nivo-pluvial o pluvial. Una de las características de estas regiones es la presencia de un número importante de conos volcánicos, que tienen una gran influencia en la dinámica y fusión de los glaciares que se encuentran aposados en ella.

El área englaciada en la zona sur disminuye en comparación al área cubierta por glaciares en la zona central<sup>47</sup> (ver Cuadro 7), debido, primero, a una disminución progresiva de la altura de la Cordillera de los Andes y, segundo, debido a un clima que con condiciones más extremas que en el norte, no es lo

suficientemente frío para lograr que la isoterma cero se mantenga a menores alturas, posibilitando la permanencia de masas de hielo.

**Cuadro 7**  
**Inventario de glaciares Zona Sur**

Región	Cuencas Hídricas	Número de glaciares	Área englaciada (km <sup>2</sup> )
Volumen de Hielo (km <sup>3</sup> )	Equivalente en agua (km <sup>3</sup> )		
	s/i	s/i	s/i
VIII Itata	s/i	s/i	s/i
VIII Bío Bío	29	52,375,269	4,2152
IX Imperial	13	18,721,526	1,2208
IX-X Tolten	14	68,4810,449	8,3592
IX-X Valdivia	6	42,338,128	6,5024
X Bueno	11	19,352,922	2,3376
X Maullín	1	2,84	0,44 0,352
X Chamiza	1	1,05	0,0680,0544
X Petrohué	12	60,577,764	6,2112
<b>TOTAL</b>	<b>87</b>	<b>265.71</b>	<b>36,566 29,2528</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos en Rivera (1989); Rivera et al. (2000)

El inventario de la zona sur, sin incluir el Itata (que no cuenta con un inventario de esa cuenca), fue realizado por Rivera (1989) identificándose 82 glaciares, y no los 87 que se observan en el Cuadro 6, donde se realiza un análisis por cuenca hidrográfica, debido a que varios conos montañosos poseen glaciares en su toda la cumbre, por lo tanto aportan agua a varias cuencas<sup>48</sup>.

La cuenca del Bío Bío, de régimen nivo-pluvial, presenta 7 áreas de montaña, que albergan a 29 glaciares. El área de montaña más importante es Sierra Velluda, que cuenta con 11 glaciares, abarcando un área de 20,3 km<sup>2</sup>, correspondiente al 38,76% del total del área englaciada en la cuenca. La cuenca del río Imperial cuenta con 4 áreas de montaña, la más importante es el Volcán Llaima, que con sólo 3 glaciares logra abarcar un 64,62% de la superficie englaciada de toda la cuenca. Los 10 glaciares restantes representan un área de aproximadamente 6,69 km<sup>2</sup>.

La cuenca del río Tolten es la más importante de la zona sur y contiene la mayor área englaciada de todas las cuencas sureñas: Cuenta con 6 áreas de montaña, donde la más importante vuelve a ser el Volcán Llaima, que en su sección sur, con un área englaciada de 19,9 km<sup>2</sup>, correspondiente al 29% de la superficie total englaciada de la cuenca, pero con 2 centros montañosos que presentan igual relevancia, los Nevados de Sollipulli y el Volcán Villarrica, con 19,38 km<sup>2</sup> y 17,13 km<sup>2</sup> respectivamente. En el caso de la cuenca del Valdivia una de las características es la importante presencia de lagos que son

alimentados por glaciares, el más importante cuerpo de hielo es el casquete sur del Volcán Villarrica que con 22,77 km<sup>2</sup> abarca al 53,8% de la superficie total de glaciares de la cuenca. La cuenca del Bueno posee ríos de régimen pluvial, con sólo algunos esteros cordilleranos que poseen alimentación nival, presenta 5 centros montañosos, el más importante de ellos es el complejo volcánico Mocho-Coshuenco, que con un solo glaciar logra abarcar al 61,6% de la superficie englaciada de la cuenca.

La cuenca del Maullín, también presenta régimen pluvial. En ella es posible encontrar un solo cuerpo glaciar ubicado en el Volcán Osorno, cuya superficie es de 2,74 km<sup>2</sup>, que alimenta el Lago Llanquihue. Como es la tónica de los ríos sureños, la cuenca del Chamiza tiene régimen pluvial, y al igual de la cuenca del Maullín posee sólo un cuerpo glaciar de 1,05 km<sup>2</sup>, ubicado en el Volcán Calbuco, que alimenta el Lago Chapo. Finalmente la cuenca del Petrohué alberga 3 centros montañosos, el más importante es el Monte Tronador, que con sus 7 glaciares abarca 51,04 km<sup>2</sup> correspondientes al 84,27% del total del área englaciada de la cuenca. Al igual que en la mayoría de las cuencas mencionadas, los ríos son de régimen pluvial, sin embargo en las zonas altas presenta aportes glaciares en las nacientes de las aguas.

La relevancia de los glaciares de la zona sur es que “los caudales de estilaje de los principales ríos de la región, son explicados por el derretimiento de los cuerpos de hielo, además de los aportes de las napas subterráneas que estos mismos glaciares aportan, en particular en terrenos volcánicos de alta permeabilidad o en cráteres que por índices geotérmicos altos, generan importante cantidad de agua que percola y se vacía a las cuencas” (Rivera, 1989). Por lo tanto, si bien los ríos de esta zona poseen un régimen principalmente pluvial, no se puede pasar por alto la importancia que estos glaciares tienen para sus cuencas, más aun si se considera que los glaciares de esta zona son templados, por lo tanto se ven muy influenciadas por las variaciones globales de temperatura ya que pequeños incrementos de ésta aumentará las tasas de derretimiento.

## **Zona Austral**

La Zona Austral, donde se encuentran Campos de Hielo Norte y Campos de Hielo Sur, posee las áreas englaciadas más grandes del país y del continente, abarcando 15.460 km<sup>2</sup> (ver Cuadro 8), correspondientes al 91.5% del total de superficie cubierta por glaciares a nivel nacional. Estas regiones son las más extremas del país, con un clima lluvioso y frío durante gran parte del año (Centro de Estudios Científicos y Universidad de Chile. s.a.).

### Inventario de glaciares Zona Austral

Región	Sector	Número de Glaciares	Área Englaciada (km <sup>2</sup> )
XI	Campos de Hielo Norte	28	4.200
XI - XII	Campos de Hielo Sur	48	11.260 <sup>49</sup>
TOTAL	76		15.460

Fuente: Rivera *et al.*, 2000.

De los campos de hielo patagónicos el más grande es Campos de Hielo Sur, encontrándose entre la XI y XII regiones, abarcando al 72.8% de los glaciares de la zona austral. Debido a la combinación de una gran riqueza de especies y de un reducido impacto humano Campo de Hielo Sur ha sido declarado como Parque Nacional tanto en el lado Chileno como Argentino, motivando la investigación y el turismo en la zona (Centro de Estudios Científicos y Universidad de Chile. s.a.)

El número de investigaciones científicas en la zona supera con creces a las realizadas en otras partes del país. Estas se han focalizado en las influencias del cambio climático en los glaciares del sector y en el aporte de estos al aumento del nivel del mar. El aporte de las áreas englaciadas al abastecimiento humano directo en la zona austral no es importante ya que estas regiones poseen poblaciones muy reducidas, alejadas de los Campos de Hielo y con abundancia de agua, disminuyendo los problemas para la obtención de ésta. Adicionalmente en esta zona las precipitaciones pueden llegar a 10.000 mm/año.

### 3.2- Estado de los glaciares a nivel nacional

Los estudios realizados a diversos glaciares del país muestran que gran parte de ellos se encuentran en retroceso. La investigación de Rivera *et al.* (2000), muestra que en el país se han medido las variaciones frontales históricas de aproximadamente 100 glaciares, de los cuales un 87% muestran retrocesos, lo que coincide con la tendencia a nivel mundial, en donde el derretimiento mayor de los glaciares ha sido la tónica de las últimas décadas. Es importante que Chile pueda continuar estos estudios sobre un universo mayor del total de glaciares inventariados<sup>50</sup>.

Según Lliboutry (1958, citado por Rivera *et al.*, 2000), entre 1930 y 1950 los glaciares del Norte grande no presentan evidencia de un retroceso sensible. En estudios posteriores el—único glaciar que ha sido medido en el Norte Chico es el glaciar Tronquito, ubicado en el cerro del mismo nombre, en la cuenca superior del río Copiapó, con una tasa de retroceso de 23 metros por año en el periodo comprendido entre 1984-1996. Por su parte el Glaciar Tapado<sup>51</sup>, IV

Región, ha tenido variaciones interanuales que se explican netamente por la influencia del fenómeno ENOS (El Niño/Oscilación del Sur), teniendo acumulaciones positivas durante los períodos El Niño y negativa producto de la Oscilación del Sur (Centro de Estudios Científicos y Universidad de Chile. s.a.).

En Chile central se han evaluado 8 glaciares, los que han evidenciado tendencias negativas, con bajas tasas de retroceso. El glaciar Juncal Sur mostró avances durante la primera mitad del siglo pasado (1900 - 1950), sin embargo desde esa fecha hasta 1997 ha mostrado un marcado retroceso de 50 metros por año, llegando a ser el glaciar que mayor retroceso ha experimentado en la zona central. A diferencia de las altas tasas de derretimiento del glaciar anterior, el glaciar Juncal Norte, perteneciente al mismo cordón cordillerano, ha mostrado tasas pequeñas de retroceso, no superando los 4 metros por año (Centro de Estudios Científicos y Universidad de Chile. s.a.) y el glaciar Echaurren Norte, un poco más al sur, ha mostrado balande de masa positivos entre 1975 y 1993 (Escobar *et al.*, 1995). Esto se explica al analizar las condiciones locales que influyen en estos glaciares, siendo más dominantes las condiciones que se generan en torno al glaciar Juncal Norte y Echaurren Norte, impidiendo la insolación del glaciar, limitando la ablación excesiva.

En la zona sur se ha medido el glaciar del Monte Tronador y sus lenguas que fluyen hacia lado chileno, los que han mostrado tasas de retroceso de 32 metros por año en el periodo 1961-1995.

Las variaciones recientes de Campos de Hielo Norte y Sur, en la zona austral, han sido las más estudiadas de todo el país y todas las cifras, con algunas excepciones, muestran un marcado retroceso, principalmente en los frentes terminales, como es posible observar en la Figura 19, donde se muestran las líneas que marcan las variaciones del frente terminal del glaciar Tyndall entre los años 1945 y 2000, indicando un marcado retroceso, y la Figura 20 que muestra 2 imágenes satelitales del ventisquero San Quintín de Campos de Hielo Norte, una correspondiente al año 1994 y la otra al año 2002, observándose un retroceso importante.

**Figura 19**  
**Variaciones del frente principal del Glaciar Tyndall en los lagos Tyndall y Geikie entre los años 1945 y 2000**

*Fuente: Rivera y Casassa, 2004.*

Nota: Se puede observar que la línea roja marca el tamaño que tenía el glaciar Tyndall el año 1945, y la delineación blanca muestra su borde al año 2000, observándose gran retroceso.

**Figura 20**  
**Imágenes satelitales del retroceso del Ventisquero San Quintín, Campos de Hielo Norte.**

Año 1994

Año 2002

Fuente: Instituto Geográfico Militar.

En definitiva, la mayoría de los glaciares analizados muestran retrocesos que Rivera *et al.* (2000) relaciona con el proceso de cambio climático indicando “considerando que la gran mayoría de los glaciares aquí descritos están retrocediendo, con tasas variables pero significativas, que el balance de masa acumulado es negativo y que los cambios de espesor detectados son negativos, lo más probable es que el factor climático sea la principal causa que explica dichos procesos”.

Es importante destacar que las tasas de retroceso de los diferentes glaciares no es igualitaria ni siquiera para glaciares que pertenecen a una misma cuenca o cordón montañoso, ya que cada uno de los cuerpos de hielo se ubican en sectores que poseen condiciones locales especiales que pueden otorgar ciertos características que determinen su respuesta a los procesos globales (geometría de las cuencas, actividad volcánica, laderas de exposición, forma de los fiordos o aspectos locales de acumulación de nieve).

Si bien el estudio de Rivera *et al.* (2000), marca una tendencia, debe considerarse que sólo representa al 5,6% de los glaciares en el país, y que los de la zona norte, centro y sur, están mínimamente representados ya que la mayoría de las investigaciones se han desarrollado en glaciares de campos de hielo patagónico. Por ello a futuro urge profundizar en la influencia que tiene el fenómeno ENSO (El Niño/Oscilación del Sur) sobre el avance o retroceso de los glaciares del norte y centro del país, ya que este fenómeno climático puede ser un factor determinante para la mayor o menor acumulación de nieve en la alta cordillera, como es el caso del balance positivo del Glaciar Echaurren Norte explicado por Escobar *et al.* (1995), donde plantean que los valores marcadamente positivos indican la ocurrencia del fenómeno de El Niño, observándose una buena correlación entre balance positivo, la acumulación y la precipitación, pero no ocurre lo mismo entre la ablación y la temperatura.

Sin embargo no se puede dejar de desconocer que el retroceso de los glaciares no corresponde a una situación puntual de los glaciares chilenos, sino a un proceso a nivel mundial<sup>52</sup> que a afectado más fuertemente a los glaciares de

latitudes medias, pero que no ha dejado ausente a los grandes casquetes polares. Si en el norte y centro del país se generaran más estudios que marcaran la tendencia mundial, estas serán las zonas más afectadas por estas variaciones ya que tienen una mayor densidad poblacional dependiente de las fuentes perennes de agua que proveen los glaciares.

De las investigaciones realizadas hasta la fecha se puede concluir en términos generales que las tendencias de aumento en las temperaturas y la disminución de las precipitaciones seguirán afectando en forma negativa a los glaciares de la Cordillera de los Andes. Ello hace prioritaria la investigación para analizar la evolución de la mayor parte de los glaciares.

### **3.3- La importancia de los glaciares en Chile**

Los aportes hídricos de los glaciares se caracterizan por estar en relación directa con el abastecimiento humano y a los ecosistemas; y los que se relacionan con el aumento del nivel mundial de los océanos. En el caso de Chile es posible analizar los aportes glaciares según ambas características.

Los cuerpos de hielo de la zonas norte, centro y sur, principalmente los que se encuentran en cuencas con régimen nival y nivo-pluvial, tienen relevancia debido al aporte hídrico que realizan a las cuencas y actividades humanas en los sectores ubicados aguas abajo, siendo aportes fundamentales en las zonas norte y centro del país debido a que estas presentan condiciones de aridez y semiaridez, con bajos niveles de precipitaciones, estando sometidas a oscilaciones climáticas que las hacen estar expuestas a periodos de sequía importantes<sup>53</sup>.

Diversas investigaciones científicas muestran la relevancia de los glaciares en zonas áridas, como por ejemplo la realizada por Milana y Güell (2005), donde se indica que estas zonas “cuentan con cuerpos de hielo como únicas reservas hídricas de carácter “permanente” dado que el resto del agua que no es retenida en forma de hielo, escurre o percola rápidamente debido a las altas pendientes de estas zonas y a la ausencia de reservorios hidrogeológicos de mediana a gran envergadura”. Lamentablemente el número de investigaciones realizadas en la zona norte ha sido pequeño, “los glaciares del norte del país no han merecido suficiente atención de los especialistas, lo que debiera revertirse en el futuro, especialmente respecto a los glaciares rocosos” (Rivera *et al.*, 2000).

En el caso de “los glaciares de Chile central, si bien tienen una baja participación en el aporte volumétrico a nivel global (aumento del nivel del mar), son vitales

para la mantención de caudales en zonas pobladas en períodos con veranos secos” (Rivera *et al.*, 2000), Marangunic (1979) destaca que “la fusión de los hielos de los glaciares continentales cordilleranos es la más importante, y virtualmente única, fuente de recarga durante los meses de verano y otoño para los grandes ríos de la región central de Chile, que tienen su origen en la cadena andina”.

En el caso de la Región Metropolitana de Santiago por ejemplo, el río Maipo, perteneciente a la cuenca que alberga a la mayor población del país, en períodos de verano o sequía ha presentado aportes glaciares significativos a los caudales del río, llegando a representar entre un tercio y dos tercios del volumen total de agua que lleva el cauce (aproximadamente entre un 30 y 60% del caudal total del río). En el verano de 1968-1969, considerado como uno de los años más secos de los que se tiene registro en la zona central de Chile; el 67% del volumen mensual de agua que llevaba el río Maipo correspondía a aporte glaciar producto del derretimiento de los cuerpos de hielo cordilleranos (Peña y Nazarala, 1987).

En cuanto a los glaciares de roca de la zona cordillerana de la Región Metropolitana, aunque estos no son tan grandes como los glaciares de los cumbres principales, “contienen, por su mayor número y más amplia distribución, una cantidad considerable de agua” (Brenning, 2003).

En la zona central por su alta densidad poblacional y la concentración de actividades económicas intensivas en el uso del agua la Cordillera de los Andes cumple un rol preponderante en la provisión de recursos hídricos, ya que estas regiones son las que presentan mayor superficie englaciada luego de Campos de Hielo. Caviedes (1979) indica que “en la zona central de nuestro país, el monto de recursos hídricos está fundamentalmente determinado por la presencia de los sectores cordilleranos andinos, de masa de nieve y hielo que originan, durante los periodos de deshielo, las aguas de fusión que inciden considerablemente en el balance hidrológico anual”.

En el caso de los glaciares de la zona sur, si bien los ríos poseen un régimen principalmente pluvial, “los caudales de estilaje de los principales ríos de la región son explicados por el derretimiento de los cuerpos de hielo, además de los aportes de las napas subterráneas que estos mismos glaciares aportan, en particular en terrenos volcánicos de alta permeabilidad o en cráteres que por índices geotérmicos altos, generan importante cantidad de agua que percola y se vacía a las cuencas” (Rivera, 1989). El que estos glaciares sean templados hace que estén muy influenciadas por las variaciones globales de temperatura,

por lo que pequeños incrementos de ésta aumentará las tasas de derretimiento, pudiendo presentar grandes riesgos para su permanencia.

La zona austral del país, y principalmente los campos de hielo patagónicos, al estar alejados de los poblados que generalmente gozan de abundante de agua debido a las condiciones climáticas de la región, no presentan mayor relevancia para el abastecimiento humano, pero si cobran relevancia por los aportes que generan para el aumento del nivel del mar, ya que del volumen total que los glaciares pequeños<sup>54</sup> aportan al nivel del mar, aproximadamente un 9% de ese aumento es explicado por campos de hielo patagónico, cuando en superficie no constituyen más del 6% de esos glaciares.

Para Chile, conservar y proteger los glaciares es fundamental, debido al impacto que su reducción puede causar tanto a las poblaciones, como a las economías de subsistencia, a los recursos naturales y la producción agrícola en los lugares de mayor producción y población del país (zona norte y centro). Asimismo, debido a los riesgos y consecuencias que puede tener el aumento del nivel del mar sobre las amplias y pobladas áreas costeras de países como Chile y que no tienen los recursos ni la infraestructura necesaria para hacer frente a este tipo de riesgos.

Actualmente es un consenso científico que los glaciares proveen de agua durante periodos de déficit hídrico permitiendo la permanencia del flujo hídrico de las cuencas, principalmente en las zonas altas de éstas (Ferrando, 1991; Croce y Milana, 2002). Por ello son fundamentales para el equilibrio hídrico y climático de las hoyas hidrográficas, quedando demostrado en una gran cantidad de investigaciones enfocadas principalmente a la preocupación e incertidumbre que existe producto del retroceso que han experimentado gran parte de los cuerpos de hielo mundiales, principalmente aquellos alejados de los polos, ubicados en zonas montañosas.

### **3.4- Riesgos y amenazas actuales para la conservación de glaciares en Chile**

La discusión ciudadana sobre el futuro de los glaciares y el impacto que pueden provocar las actividades productivas en la alta cordillera se ha iniciado sólo hace algunos años en Chile, pero la intervención de los glaciares de montaña comenzó hace varias décadas.

#### **3.4-1. Proyecto minero Pascua Lama, III Región.**

El proyecto Pascua Lama, de Barrick Gold Corporation en la cuenca del río Huasco en la III Región al norte del país, pretendía en su formulación inicial remover 3 glaciares, Toro 1, Toro 2 y Esperanza, debido a que estos se encontraban en el área del rajo proyectado de la mina. Se argumentaba que correspondían a reservorios glaciares que estaban en franco proceso de desaparición debido a las altas tasas de derretimiento que presentaban y que eran de poca relevancia hídrica para la cuenca<sup>55</sup>. La Figura 21 muestra los glaciares Toro I y II entre 1955 y 1981 donde no se registra mayor variación salvo diferencias estacionales. Sin embargo su disminución es dramática entre 1981 y el 2000, años en que se desarrollan prospecciones mineras y caminos en el área, afectando irreversiblemente dichos cuerpos de hielo<sup>56</sup>.

**Figura 21**  
**Fotos aéreas de los glaciares Toro 1 y Toro 2**

1981

2000

1955

*Fuente: Golder Associates, 2004.*

Los documentos presentados por la empresa Barrick Gold a la Comisión Nacional de Medio Ambiente, III Región, y el testimonio de un ex trabajador de una empresa contratista que realizaba los servicios de sondaje en la zona permitió dar cuenta que aunque la empresa Barrick Gold llegó a la zona en el año 1995, las exploraciones mineras para el proyecto Pascua Lama se iniciaron en la década de los '70 y tuvieron como función hacer un muestreo detallado de las reservas mineras del área. Los sondajes y caminos de acceso se realizaron en toda el área del proyecto, incluso sobre los glaciares, en donde se procedió a dinamitar parte del cuerpo de hielo con el objetivo de formar una plataforma en la cual situar la maquinaria perforadora, para la toma de muestras.

Esto muestra que el daño a los glaciares tenía una data de 20 años, y que la construcción de caminos y sondajes habían impactado negativamente a estos cuerpos de hielo llevándolos al estado actual, principalmente los realizados en las últimas etapas exploratorias, donde los sondajes se volvieron más intensivos. Este daño ambiental llevó a agricultores de la zona a interponer una denuncia a la CONAMA Atacama la cual, aun teniendo documentos entregados por la

empresa que evidenciaban acciones sobre los glaciares, se concluyó que no se contaba con la información necesaria para sacar conclusiones.

Se suma al daño ya existente, un daño potencial, ya que si bien la Comisión Regional de Medio Ambiente de la III Región (COREMA Atacama) indicó en la Resolución que aprueba las modificaciones al proyecto Pascua Lama<sup>57</sup>, que el proyecto minero no podría intervenir glaciares (Toro 1, Toro 2 y Esperanza) ésta exigencia es desdibujada y contradicha por la autorización que permite la ubicación del botadero Nevada Norte, del mismo proyecto, en un sector que cubrirá por completo un glaciar de roca. En la Figura 22 es posible observar la fotografía del lugar y la ubicación del glaciar de roca.

**Figura 22**  
**Sector en donde se ubicará el Botadero Nevada Norte**

*Fuente: Figura 3 “Afloramientos de Roca en el Estrecho”, Revisión Geotécnica Nevada Norte – Proyecto Pascua Lama, noviembre de 2005, Golder Associates. (escala 1:15.000)*

El Botadero Nevada Norte, que se ubicará en la cabecera del valle del Río del Estrecho, tendrá una vida útil de 19 años y acumulará un total que excede los 1.200 millones de toneladas de estériles<sup>58</sup> en una extensión de 320 hectáreas, presentando una altura global de 700 metros. El plan de construcción del Botadero Nevada Norte considera una secuencia tal que primero será confinada la base del Glaciar de roca, con estériles, antes de ser cargado o cubierto por el botadero, hasta llegar a la situación final, en donde el glaciar se encontrará bajo 150 metro de estériles y a 250 metros detrás de la cresta final del botadero. En las Figuras 23 y 24 se pueden observar los pasos de depositación que llevarán al confinamiento total del glaciar.

**Figura 23**  
**Secuencia plan de construcción del Botadero Nevada Norte desde el Año 5 y año 6 de producción**

*Fuente: Golder Associates, 2005.*

**Figura 24**  
**Estado del Botadero Nevada Norte en el Año 19 de depositación de estériles**

*Fuente: Golder Associates, 2005.*

Los estériles suelen ser depositados aun cuando las temperaturas no han logrado una baja suficiente, por lo tanto lo más posible es que el glaciar sea cubierto por estériles generadores de calor, lo que provocará la desaparición del glaciar, por lo tanto, al contrario como lo menciona el estudio, la escorrentía descenderá bajo los niveles anteriores a la depositación de estériles, ya que no existirá esa fuente de agua abastecedora.

Si se revisan los recursos de reclamación realizados por la comunidad del Valle del Huasco, acogidos por la Comisión Nacional de Medio Ambiente posterior a la aprobación del proyecto, ocurrida en febrero de 2006, queda latente que esta situación es planteada a la institucionalidad ambiental, pero ésta ni siquiera la menciona o lo hace someramente en la respuesta que se le da a la comunidad.

De esta forma se configura una intervención masiva sobre un glaciar a partir del año 5 de funcionamiento del proyecto, contradiciendo el discurso de no intervención de glaciares que la Comisión Nacional de Medio Ambiente orgullosamente ha patentado luego de la aprobación del proyecto Pascua Lama. Es de gran preocupación esta situación, ya que se dio a entender a la ciudadanía y a los entes políticos del país que en Chile, con la institucionalidad ambiental existente, los glaciares no serían intervenidos, pero los hechos demuestran o demostrarán lo contrario.

No se comprenden los motivos por los cuales COREMA Atacama entrega el estatus de glaciar a los glaciares descubiertos (Toro 1, Toro 2 y Esperanza), impidiendo la intervención de estos, y no usa el mismo criterio para definir la intervención o no intervención de los glaciares de roca, que según la comunidad científica tienen una gran relevancia hídrica para las cuencas, especialmente de la zona norte del país.

Es necesario considerar que Pascua Lama es el primer proyecto que se acoge al Tratado de Integración y Complementación Minera entre Chile y Argentina y representa muy claramente los riesgos que puede provocar la actividad minera masiva desarrollada en la divisoria de aguas de Chile y Argentina donde se encuentran los glaciares, incluso en la etapa exploratoria de reservas minerales, donde la regulación y fiscalización es casi nula.

### **3.4-2. Mina Sur Sur, División Andina de Codelco, V Región.**

La mina Sur Sur, División Andina de la <sup>52-</sup> empresa estatal Codelco Chile, posee una mina a rajo abierto localizada en la comuna de Los Andes, zona cordillerana de la V Región. En operación desde 1983, la mina inicialmente tenía una

proyección de 4 años de extracción de minerales de alta ley, que en 1985, luego de nuevos estudios, se alargó a 8 años.

Debido a la corta vida útil proyectada para la mina, se buscó reducir las distancias del transporte de estériles, los que comenzaron a ser depositados sobre el Glaciar Río Blanco, en un sector muy cercano al rajo. El peso de los estériles provocó que los cuerpos de hielo comenzaran a desplazarse lentamente, provocando problemas menores en los caminos cercanos y el rajo de la mina.

Entre 1983 y 1997, Codelco Andina removió espesores “menores” de un glaciar de roca que ellos denominaron “morrena”<sup>59</sup> que se encontraba dentro del rajo de la mina, pero desde 1997 se manifestó una mayor presencia y avance del glaciar de roca, que avanzaban en el orden de 20 metros por año, dificultando el trabajo y causando riesgos para el personal y las maquinarias. Como se muestra en un estudio realizado por Morales (2001), el enfoque que entrega la empresa es netamente productivista, buscando las medidas necesarias para que los glaciares de roca no afectaran negativamente a la producción minera. Esto queda expresado por Morales (2001) que indica “la problemática que representa el movimiento inesperado de las morrenas y que afectan la operación de la mina a rajo abierto, significa poner en riesgo el aporte de la mina expresado en los planes de producción de largo plazo”.

Como se observa en la Figura 25, dentro del rajo de la mina existen 9 lenguas glaciares, 7 de ellas pertenecientes al Glaciar Río Blanco y 2 al Glaciar Rinconada, con sectores donde la mezcla de hielo y roca posee una profundidad de 100 metros.

**Figura 25**  
**Nominación y Ubicación de lenguas glaciares área mina Sur-Sur**

*Fuente: Morales, 2001.*

La deformación de las paredes de la mina comenzó a provocar desmoronamientos, implicando un desplazamiento mayor de los glaciares, lo que significó una mayor exigencia extractiva de éstos, removiendo mayor material que el planificado. Es así como en el Cuadro 9 se observan que los niveles de extracción de las “morrenas” glaciares han sido verdaderamente exorbitante, alcanzado montos acumulados de remoción del orden de 20

millones de toneladas de roca y hielo en 8 años. La extracción futura se estima en 1.300.000 toneladas por año.

**Cuadro 9**  
**Evolución de la extracción de “morrenas” en Mina Sur-Sur**  
**CODELCO Chile División Andina**

*Fuente: Morales, 2001.*

Este yacimiento no fue sometido al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) debido a que el SEIA recién entra en funcionamiento el año 1997, 14 años después que el comienzo de operaciones de la mina. Por ello Andina no tiene limitación alguna que le impida desarrollar la remoción de glaciares y la depositación de los estériles sobre el glaciar Río Banco<sup>60</sup>. Si a esto se suma la inexistencia de una normativa que permita proteger estos cuerpos de hielo y regular las actividades en la alta cordillera, se vislumbra un escenario sumamente preocupante, más aun si se considera que esta explotación minera afecta a glaciares de la zona central del país, caracterizada por estar sometida a importantes restricciones hídricas.

Los proyectos mineros Pascua Lama y Sur Sur, uno en su etapa exploratoria y otro en su etapa de ejecución, han demostrado el gran impacto que puede generar la actividad desarrollada en altas cumbres. En un escenario de permanente expansión minera en Chile, es muy posible que situaciones similares se repitan por causas de proyectos, tanto privados como estatales. Por ello urge tomar medidas que permitan regular la intervención de las zonas altoandinas, para que situaciones como estas no vuelvan a repetirse y el país pueda conservar estas reservas estratégicas de agua dulce.

## **4. Contexto internacional y marcos jurídicos para la protección de glaciares**

### **4.1- Importancia de los glaciares para organismos internacionales.**

Un glaciar es un sistema abierto, con dinámica compleja debido a que mantiene interacciones internas con el medio ambiente en que se encuentra. Su formación obedece a condiciones ambientales únicas y de alta fragilidad, por lo que cualquier acción que se desarrolle sobre él puede generar una gran vulnerabilidad a los ecosistemas de montaña, poniendo en riesgo a toda la

población aguas abajo que se abastece de agua gracias a los deshielos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2004), ya que su pérdida es irreversible.

La preocupación por los ecosistemas montañosos tiene larga data a nivel mundial; un ejemplo palpable es la Agenda 21 (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 1992) que dedica un capítulo completo al tema de desarrollo sostenible de las zonas de montaña, indicando la relevancia de las montañas como “fuente importante de agua, energía y diversidad biológica”. Destaca además que “el medio montano es esencial para la sobre vivencia del ecosistema mundial”, poniendo énfasis en su vulnerabilidad al “desequilibrio ecológico provocado por factores humanos y naturales (...) siendo las zonas más sensibles a los cambios climáticos de la atmósfera”. Esto plantea una serie de desafíos para los países miembros de la ONU en torno a la protección, generación de información científica, concientización de la población y creación de redes que permitan tener éxito en el mantenimiento de los glaciares y ecosistemas de montaña.

Si bien existe gran incertidumbre sobre los alcances reales de los efectos del cambio climático, la información que ha sido validada en la actualidad ha permitido que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992) proponga medidas, principalmente basada en el principio precautorio. El Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) a elaborado una serie de evaluaciones y fundamentos que justifican la gran cantidad de medidas y acuerdos anexos a la convención. En dichos informes se muestra la importancia de los glaciares, y la relevancia de ser considerados como indicadores del Cambio Climático según las respuestas que presentan ante los efectos del cambio climático.

Fruto de ello en el año 2000 la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró como el “Año Internacional de las Montañas” (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2000), evidenciando la preocupación y conciencia sobre el valor de estas áreas, considerándolas como ecosistemas muy frágiles y mundialmente importantes, buscando la conservación y el desarrollo sostenible de estas regiones.

Por otra parte, el Comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO ha mostrado gran preocupación ante los peligros que puede causar el cambio climático, por lo que ha instado a los organismos afines a la conservación y a los Estados a realizar propuestas que permitan enfrentar de mejor forma los efectos del