

Glaciares rocosos en la zona semiárida de Chile: relevancia de un recurso hídrico sin protección normativa

Hans Andrés Fernández Navarro¹

Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Santiago - Chile

Francisco José Ferrando Acuña²

Universidad de Chile, Santiago - Chile

Resumen

Los glaciares rocosos en la zona semiárida de Chile constituyen recursos hídricos de importancia mayor, en los que tanto el cambio climático global como la continua expansión de actividades mineras en regiones de alta montaña, están generando un impacto destructivo considerable. En este trabajo se analiza la situación actual del valle del río Putaendo, cuenca del río Aconcagua, región de Valparaíso, donde proyectos mineros coinciden espacialmente con glaciares rocosos no reconocidos y menos estudiados. También se revisa la Constitución Política Chilena en su abordaje de los glaciares. En este contexto, la política neoliberal imperante y un cuerpo normativo poco claro, fragmentado y ambientalmente débil, han permitido la intervención descontrolada de la criósfera en los Andes centrales chilenos, cuya población ha estado sujeta a situaciones de sequías severas en las últimas décadas.

Palabras claves: aporte hídrico, glaciares rocosos, ley de protección de glaciares, minería, región semiárida.



doi: 10.15446/rcdg.v27n2.63370

RECIBIDO: 17 DE MARZO DE 2017. ACEPTADO: 15 DE NOVIEMBRE DE 2017.

Artículo de reflexión sobre los glaciares rocosos, vistos como un recurso hídrico relevante para la zona semiárida de Chile, los cuales actualmente no cuentan con una legislación que los proteja de las explotaciones mineras.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Fernández Navarro, Hans Andrés, y Francisco José Ferrando Acuña. 2018. "Glaciares rocosos en la zona semiárida de Chile: relevancia de un recurso hídrico sin protección normativa." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 27 (2): 338-355. doi: 10.15446/rcdg.v27n2.63370.

¹ Dirección postal: C.P. 7500828.

hfernandezn@docentes.academia.cl – ORCID: 0000-0003-4682-0373.

² Dirección postal: C.P. 8320000.

fferrand@uchilefau.cl – ORCID: 0000-0002-2909-0770.

Rocky Glaciers in the Semi-arid Zone of Chile: The Relevance of an Unregulated Water Resource

Abstract

The rocky glaciers located in the semi-arid zone of Chile are a major water resource that is currently exposed to a considerable destructive impact due to both global climate change and the continuing expansion of mining activities in high mountain regions. This article analyses the current situation of the Putaendo River valley, Aconcagua River basin, in the region of Valparaíso, where mining projects coincide spatially with unidentified and unstudied rocky glaciers. It also reviews the way the Chilean Constitution approaches to glaciers. In this context, the prevailing neoliberal policies and an unclear, fragmented and environmentally weak body of regulations have allowed the uncontrolled intervention of the cryosphere in the central Chilean Andes, whose population has been exposed to severe droughts in the last decades.

Keywords: water supply, rocky glaciers, glacier protection law, mining, semi-arid region.

Geleiras rochosas na área semiárida do Chile: relevância de um recurso de água sem proteção normativa

Resumo

As geleiras rochosas na região semiárida do Chile são recursos hídricos e geomorfológicos de muita importância na atualidade, nos quais tanto a mudança climática global quanto a contínua expansão das atividades de mineração em regiões montanhosas estão gerando um considerável impacto destrutivo. Este artigo analisa a situação atual do vale do rio Aconcagua, na região de Valparaíso, em que o desenvolvimento de projetos de mineração coincide espacialmente com a localização de geleiras rochosas não reconhecidas e ainda não estudadas. O estudo também fornece uma revisão da Constituição Política Chilena quanto à sua abordagem sobre as geleiras. Nesse contexto, a política neoliberal imperante e um corpo normativo confuso, fragmentado e ambientalmente fraco, têm permitido a intervenção da criosfera na região central dos Andes chilenos, uma área na qual a população tem sido objeto de episódios contínuos de escassez de água nas últimas décadas.

Palavras-chave: abastecimento de água, geleiras rochosas, lei de proteção das geleiras, mineração, região semiárida.

Introducción

Para zonas semiáridas los glaciares de montaña son recursos hídricos que garantizan el suministro de agua de las partes bajas de las cuencas, ya que el clima mediterráneo, con estación seca prolongada, genera una dependencia de la precipitación invernal y el deshielo de verano. Sin embargo, debido al aumento de temperatura global, se proyecta una disminución de la precipitación en forma de nieve en invierno y la anticipación de los procesos de fusión (Barnett, Adam y Lettenmaier 2005), situación que tendrá incidencia directa en los caudales de los ríos. Lo anterior viene acompañado por los procesos de expansión demográfica y productiva hacia áreas de montaña.

Los glaciares rocosos han sido reportados en la mayoría de los sistemas de alta montaña del mundo (Barsch 1996; Haeberli 1985; Humlum 1998), siendo destacados por su relevancia como recurso hídrico en climas semiáridos, pues contribuyen a la escorrentía de los ríos durante los meses más cálidos, especialmente en años de sequía (Arenson y Jakob 2010; Barsch 1992; Croce y Milana 2002; Schrott 2002; Torres, Brenning y García 2013). Definidas como expresión geomorfológica del permafrost de montaña, con alto contenido de hielo (Azócar y Brenning 2010; Barsch 1992, 1996; Brenning 2010; Schmid et ál. 2015), la mayoría de estas geoformas se producen al pie de laderas escarpadas o en morrenas con núcleos de hielo en las secciones terminales de pequeños glaciares blancos. El depósito y la acumulación lenta de agua de fusión o nieve en intersticios de los escombros generan un núcleo de hielo no visible desde la superficie, ya que esta última es cubierta de bloques clásticos, los cuales, finalmente, por su espesor, controlan la morfología superficial y dinámica interna de los glaciares rocosos (Monnier y Kinnard 2015).

En uno de los primeros estudios hidrológicos sobre glaciares rocosos en la cuenca del río Aconcagua, en Chile, Marangunic (1976) estimó que el aporte hídrico del glaciar rocoso El Pedregoso, en su parte frontal, fluctúa entre 4 y 9 l/s. En los Andes centrales de Argentina, A. Corte (1976) realizó observaciones cualitativas durante el otoño de 1974 y el verano de 1975 y sus reportes indicaron que los glaciares rocosos contribuyen significativamente al escurrimiento de los ríos; los drenajes generalmente son subterráneos, por la presencia superficial de material detrítico; y los ríos alimentados por glaciares rocosos son más claros y tienen una corriente más estable que los ríos alimentados por la nieve.

Azócar y Brenning (2010) modelaron el área ocupada por glaciares rocosos y su equivalente en agua para el centro de Chile. Los resultados mostraron que las principales cuencas alimentadas por glaciares rocosos son las de los ríos Elqui (29° latitud Sur) y Aconcagua (32° latitud Sur) con un área glaciada de 32,2 km² (0,52 km³ de agua equivalente) y 43,5 km² (0,70 km³ de agua equivalente), respectivamente. Cabe destacar que los glaciares rocosos, al tener una superficie cubierta de escombros, no permiten distinguir la nieve o el hielo interno a través de observación directa o percepción remota. A pesar de que estos aspectos morfológicos se han utilizado para clasificar (ver más adelante Janke, Bellisario y Ferrando 2015), a menudo los glaciares rocosos no son considerados como un tipo de glaciar (Degenhardt 2009; Ferrando et ál. 2003; Haeberli et ál. 2006; Monnier y Kinnard 2015).

Si bien se carece de estudios que detallen la relación entre glaciares rocosos e hidrología, hasta el momento Chile no cuenta con un cuerpo normativo que regule la intervención sobre este tipo de recursos, por lo cual se interpreta que, en un contexto de Cambio Climático Global, las reservas hídricas de la zona semiárida se encuentran sujetas a intervención por actividades realizadas en alta montaña.

La historia productiva de Chile se ha caracterizado por su predominancia minera. En los últimos 50 ó 60 años el rubro minero es el que ha aportado mayores dividendos al Estado chileno a partir de exportaciones e inversiones de origen extranjero (Pereira et ál. 2009). Este fenómeno no solo ha traído resultados positivos, también ha acarreado presión sobre otros sistemas. Brenning (2005), Brenning y Azócar (2010) y Bellisario, Ferrando y Janke (2013) han evidenciado que las intervenciones mineras sobre glaciares rocosos en los Andes chilenos se han concentrado desde los 26° a los 34° latitud Sur, más precisamente en las regiones de Valparaíso y Metropolitana, con índices de degradación de criósfera únicos a nivel mundial. Según estimaciones de Brenning (2008), entre 1990 y 2008, la División Andina de Codelco (Corporación Nacional del Cobre) ha destruido cerca de 2,1 km² de glaciares rocosos en la cuenca alta del río Aconcagua, lo que equivale a una pérdida de entre 15 a 25 millones de m³ de agua dulce (figura 1).

Profundizar el conocimiento científico sobre la importancia de los glaciares rocosos de los Andes semiáridos chilenos es entonces de gran necesidad y relevancia, puesto que son recursos hídricos que, según Arenson y Jakob (2010), se sobreponen geográficamente e inciden

en una de las actividades productivas más importantes para la economía del país.

En este trabajo se revisa la importancia hídrica y geomorfológica de los glaciares rocosos en la zona semiárida chilena. Asimismo se brinda un análisis de la regulación de los recursos glaciares en el país. Finalmente, para ejemplificar el problema que reviste la relación entre recursos glaciares y minería, se describe el actual conflicto que vive la localidad de Putaendo, en la cuenca alta del río Aconcagua, región de Valparaíso.

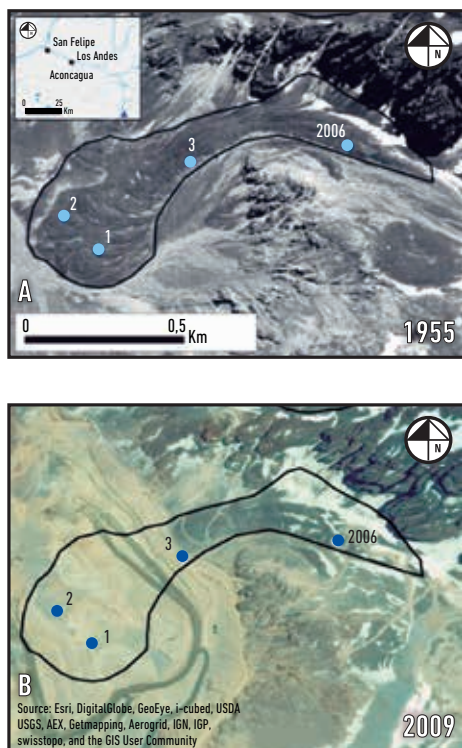


Figura 1. Glaciar rocoso Cerro Negro ($33^{\circ}8'35''$ s - $70^{\circ}14'56''$ w) en los años 1955 y 2009.

Fuente: Janke, Bellisario y Ferrando 2015, 116.

Nota: los puntos azules indican perforaciones hechas en el glaciar para conocer el espesor (m) de hielo interno (> 95% de hielo).

Pozo 1 = 9 m; Pozo 2 = 20 m; Pozo 3 = 13 m.

Glaciares rocosos

Burger, Degenhardt y Giardino (1999) sugieren que la presencia de glaciares rocosos está determinada por la existencia de cadenas montañosas jóvenes, con altos grados de erosión, que favorecen la formación de escombros y generan microclimas con ciclos diarios de congelación y derretimiento o humedad suficiente en el suelo para promover procesos periglaciares, que se complementan con nevadas y avalanchas. A pesar de que el hielo interno e

intersticial se ve afectado negativamente por el aumento de la temperatura media anual del aire, cuando los restos de manto superficial alcanzan varios metros de espesor, aíslan o ralentizan el proceso de fusión, si se lo compara con el que se da en otro tipo de glaciares (Arenson y Jakob 2010; Barsch 1992, 1996; Brenning 2003). Según Ferrando (2012) y Janke, Bellisario y Ferrando (2015), 3 metros de espesor de escombros superficiales son suficientes para aislar el núcleo del glaciar de las temperaturas externas. Cuando los glaciares rocosos se encuentran en actividad, configuran lenguas o lóbulos con costados y frentes más o menos escarpados, según sus índices de actividad, que generalmente consiste en movimiento pendiente abajo, a razón de 0,1 a 2 m/año, según sea la proporción detrítico-gélica de su masa y las condiciones termales. Esto, a su vez, da como resultado características morfológicas con rasgos longitudinales y transversales tipo cordones y surcos, debido a la compresión del hielo interno (Barsch 1996; Berger, Krainer y Mostler 2004; Brenning 2005; Shroder et ál. 2000) (figura 2).



Figura 2. Esquema de un glaciar rocoso.

Fuente: modificado de Giardino, Schroder Jr y Vitek 1987; Haeberli 1985.

Haeberli et ál. (2006) y Azócar (2013) indican que el mecanismo cinético más característico de los glaciares rocosos está justamente relacionado con la deformación de hielo interno, proceso responsable de producir una morfología de flujo superficial que es particular y reconocible (figura 3). El movimiento de flujo de un glaciar rocoso genera arrastre y erosión de material en las partes laterales y frontales. Producto de dicho proceso, los glaciares rocosos pueden alcanzar alturas que van desde 10 a 20 metros, constituyéndose con escarpes frontales y laterales con pendientes pronunciadas (> 35°) y de color más claro que el resto del glaciar, debido a lo fresco del material movilizado (Barsch 1996). Por su parte, los cordones y surcos de su superficie pueden alcanzar de

1 a 5 metros de altura y entre 10 y 100 metros de distancia entre uno y otro, a menudo con variaciones sustanciales en un mismo glaciar rocoso o dentro de la misma región montañosa (Brenning, Long y Fieguth 2012). La longitud de un glaciar rocoso varía entre menos de 100 metros y varios kilómetros, en tanto que el ancho va desde una decena hasta más de 100 metros (Brenning 2003).



Figura 3. Glaciar rocoso, activo ($32^{\circ}24'59''$ s $70^{\circ}20'22''$ o) en la parte superior e inactivo con *termokarst* en la parte inferior.

Fuente: Google Earth Pro 7.1.8.3036.

Nota: ambos presentan forma lobulada. En la lengua superior es posible observar surcos y cordones longitudinales y transversales. La lengua inferior se presenta multilobulada y con algunas depresiones de colapso. El perfil del talud frontal de la lengua superior revela un nivel de actividad moderado.

Ahumada (1992) ha identificado para los Andes semiáridos (32° latitud Sur) que la generación de permafrost se diferencia en dos pisos altitudinales. Una parte baja que va desde los 3.100 a 3.500 m.s.n.m., que presenta procesos criogénicos de poca intensidad con temperaturas anuales promedio del aire de -1°C a 3°C . A esta altura, el relieve es suave y usualmente hay vegetación afectada por los procesos de congelamiento/descongelamiento diario y/o estacional. Desde los 3.500 m.s.n.m. el relieve

se caracteriza por tener pendientes escarpadas y carecer de vegetación, con temperaturas promedio anuales de aire más bajas que -1°C , las cuales son propicias para la formación de macroformas, como glaciares rocosos. Esto coincide con Carrasco, Casassa y Quintana (2005), Brenning (2005) y Bodin, Rojas y Brenning (2010), quienes marcan que sobre los 3.500 m.s.n.m. la temperatura promedio anual del aire es del orden de 0°C a escala regional en los Andes de Chile central.

Existen discusiones sobre el contenido de hielo de los glaciares rocosos activos. Brenning (2010), basado en estimaciones estadísticas, ha indicado que el volumen de hielo promedio para el glaciar rocoso activo puede ser de 40% y 70%. Por su parte, Barsch (1992, 1996) y Janke, Bellisario y Ferrando (2015), utilizando datos de perforación minera, enfatizan que la dinámica de un glaciar rocoso tiende a un equilibrio progresivo en el contenido volumétrico de hielo y escombros, de modo que los valores representativos puedan variar en promedio entre 45% y 60%. No obstante Arenson y Jakob (2010) indican que el contenido de hielo podría variar entre 10% y 100%, valores que a menudo son influenciados por la profundidad.

Janke, Bellisario y Ferrando (2015) generaron una clasificación de glaciares rocosos con base en imágenes satelitales, observación de campo y datos obtenidos por extracción de testigos y perforaciones. La propuesta es una taxonomía que utiliza la morfología superficial como indicador de la proporción de hielo y detrito interno. La clasificación distingue tres clases de glaciares rocosos (tabla 1) y busca mejorar la comprensión y manejo de este tipo de recursos en el plano de la planificación regional, al considerar estos recursos como fuentes hídricas esenciales para las cuencas del semiárido.

Tabla 1. Propuesta de clasificación de glaciares rocosos

Clase I	Clase II	Clase III
Se encuentran completamente cubiertos de escombros, por lo que el hielo no es visible desde la superficie y generalmente contienen 25-45% de hielo. Presentan características como: a) depresiones de <i>termokarst</i> *; b) crestas y surcos pronunciados y perpendiculares; c) morrenas laterales; d) meandros o surcos longitudinales; y e) una pendiente frontal del glaciar rocoso en ángulo de reposo. Los materiales en la pendiente frontal aparecen más frescos y lucen por lo general un color más claro.	Contienen 10-25% de hielo interno, ya sea en estado segregado o intersticial. El resultado de lo anterior es la disminución del movimiento del glaciar. Las crestas transversales son lineales y con menos apariencia inclinada. La fusión de la nieve y el mínimo movimiento del glaciar hacen que el material fino se lave en un sentido vertical –lo que quita energía a las modificaciones del sustrato superficial– y, por tanto, en lo pronunciado de la topografía.	Contienen menos de 10% de hielo. El glaciar consiste principalmente de restos morrénicos, pero mantiene en parte la forma de lengua. El hielo se origina de pequeños y aislados núcleos dentro del glaciar. En algunas áreas la subsidencia del material rocoso se debe al movimiento del agua subsuperficial, a la sedimentación por gravedad o a actividad sísmica. La morfología caótica cuenta con clastos de mayor tamaño que no se han movido en un tiempo considerable. Finalmente, el material fino ha sido lavado por el deshielo.

Datos: Janke, Bellisario y Ferrando 2015.

Nota: Termokarst da cuenta de depresiones, lagunas, pozos o domos en la superficie del glaciar rocoso, producidos por el descongelamiento o degradación del permafrost rico en hielo (Trombotto, Wainstein y Arenson 2014).

La normativa fragmentada del recurso glaciar en Chile

Para entender por qué en Chile se han podido intervenir o destruir glaciares es necesario revisar las políticas y normativas que involucran este tipo de recursos, pues se precisa un mejoramiento sustancial en la comprensión de la importancia social y ecosistémica de los glaciares. Las formas de manejo de glaciares dependen de códigos legales que permiten o no acciones antrópicas sobre ellos. Así también es necesario conocer las definiciones de glaciares que adopta el Estado, con sus servicios y ministerios para generar mecanismos de regulación. Si bien hay un marco político y normativo internacional que involucra a los glaciares —a través de la Convención de Washington (1967)³, el Tratado Antártico (1961), la Convención de Humedales (1981), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1995), el Convenio sobre Diversidad Biológica (1995) y un Tratado de Integración y Complementación Minera entre Chile y Argentina (2000)—, en Chile estos no poseen un estatuto establecido expresamente en el ordenamiento jurídico (Berland 2016; Herr 2014).

La Constitución consagra en el artículo 19 n.º 8 el derecho de todas las personas a vivir en un medio ambiente libre de contaminación (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1980), por lo que el Estado es responsable de velar por que este derecho no se vea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. Para consolidar este propósito, el artículo 20, inciso 2, garantiza la posibilidad de establecer un recurso de protección que puede ser impetrado por cualquier persona ante acto u omisión ilegal de alguna autoridad o persona determinada que agrave el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Se podría asumir que los glaciares, al estar constituidos de agua, están contemplados de alguna forma en el Código de Aguas, pero no es así. El artículo 598 del Código Civil establece que el agua, como bien nacional de uso público, se encuentra sujeta al Código de Aguas. Este último órgano constitucional, reformulado por última vez en 1981, indica que se otorga a particulares el derecho de aprovechamiento, uso y goce del agua, sin detallar si esta es líquida, sólida o gaseosa.

Respecto del ámbito de aplicación práctica del Código de Aguas, el artículo 1 señala que las aguas se dividen en marítimas y terrestres, siendo las disposiciones de

este Código solamente aplicables a las aguas terrestres. Además el Código de Aguas establece que las aguas pluviales son las que proceden inmediatamente de las lluvias y serán marítimas o terrestres según donde se precipiten (Ministerio de Justicia 1981). Todo lo indicado considera solamente las aguas terrestres líquidas y excluye otros tipos de precipitación, como la nival. En conclusión, se puede afirmar que el ámbito de regulación del Código de Aguas:

[...] se circunscribe únicamente a las aguas en estado líquido, sin hacer ninguna mención a los glaciares en sus disposiciones. Además, dadas las especiales características que presentan estos cuerpos de hielo, tampoco se les puede aplicar las normas de este estatuto legal. (Herr 2014, 88)

Claramente la escasa definición y entendimiento, y la nula inclusión de las formas de ocurrencia del agua por parte del Código, hacen compleja su gestión y diálogo con otras políticas y normativas que abordan el mismo recurso, pero en otro estado. Una crítica explícita es la indicada por la Estrategia Nacional de Glaciares, donde se indica que:

[...] tampoco es posible abordar el tema de los glaciares a través del Código de Aguas, pues en su forma actual no es posible, no es suficientemente explícito acerca del manto nivoso y los glaciares, por lo que no otorga atribuciones para fiscalizar eventuales intervenciones en ellos o en sus alrededores. (CECS 2009, 59)

A propósito de la desconexión entre los estados del agua en el cuerpo normativo, el Código de Aguas presenta otros puntos críticos que deben ser revisados para comprender la falencia en cuanto a una Gestión Integral del Recurso Hídrico. Para Bauer (2008), el Código de Aguas, como la misma Constitución Política de 1980, responde a la imagen y profundización del libre mercado, el fortalecimiento de la propiedad privada y una débil regulación gubernamental, lo que crea mecanismos inéditos de competencia a través de la separación del agua y la tierra. El agua, sin un abordaje integral, se transformó en una mercancía acaparada y transarse en el mercado, en un mero bien económico, con lo que pierde en la práctica su calidad de bien nacional de uso público (Herr 2014).

El problema es que los recursos hídricos están físicamente interconectados de manera compleja y generar mecanismos de propiedad sobre ellos a menudo afecta a otros usuarios privados, al interés público y al mismo medio ambiente (Bauer 2002). Linton y Budds (2014) recalcan que el agua es difícil de abordar sobre la base

3 Las fechas hacen referencia a la entrada en vigencia en el marco jurídico chileno.

de estructuras sociales rígidas y fragmentadas, por su naturaleza sólida, líquida y gaseosa, y remarcan que su comportamiento móvil y poco aprehensible genera constantes cambios en el paisaje físico-ecológico y socialmente construido. La regulación normativa y mercantil sobre el uso y goce de las aguas a través de derechos privados transables y de naturaleza consuntiva y no consuntiva, no hacen favorable una futura inclusión de los glaciares dentro de las competencias del Código de Aguas. Pues, si así fuera, se fomentaría aún más la fragmentación y apropiación privada del recurso hídrico.

En nuestros días el problema de la gobernanza y distribución del recurso hídrico radica en los enfoques sectoriales que institucionalmente se brinda al agua. De ello resulta un manejo descoordinado y fragmentado del recurso, por lo que se entiende que “el problema global es causado por la ineficiencia de las autoridades y la creciente competencia por un recurso finito” (GWP 2000, 10). En Chile esa realidad se puede constatar a lo largo del territorio. Los conflictos por los derechos de propiedad y gobernanza regulatoria del recurso hídrico se han convertido en un problema social, político y económico, siendo el Estado quien se ha visto forzado a crear una serie de tribunales especializados para tomar decisiones de difícil solución, lo que hace que la gobernanza regulatoria aparezca más fragmentada, en un momento en que los recursos naturales y los problemas ambientales exigen respuesta integrales (Bauer 2015).

Una regulación contemporánea de la Constitución Política y el Código de Aguas es la Ley 18362 (Ministerio de Agricultura 1984), la cual crea un Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado —en adelante, SNASPE—. Esta figura impulsa la conservación de la biodiversidad a través del mantenimiento de áreas únicas o representativas de la diversidad ecológica natural del país, de lugares con comunidades de animales o vegetales o de paisajes o formaciones geológicas naturales, a fin de posibilitar la educación e investigación y de asegurar la continuidad de los procesos evolutivos, las migraciones animales, los patrones de flujo genético y la regulación del medio ambiente. No obstante, el SNASPE no cuenta con reglamento orgánico ni con un servicio específico del Estado que sea responsable en términos administrativos, lo que deja abierta la posibilidad de que otras instituciones del Estado tengan injerencia en las áreas protegidas.

El SNASPE cuenta con aproximadamente 14 millones de hectáreas, equivalente al 18% de Chile continental. Más del 84% de las áreas protegidas se hallan en las regiones de Aysén y Magallanes, mientras que en Chile central las

regiones de Coquimbo, del Maule y Metropolitana de Santiago poseen menos de 1% del total del área del SNASPE (Herr 2014; Ministerio del Medio Ambiente 2011). Según Segovia (2015), los glaciares que se encuentran en la jurisdicción del SNASPE corresponden a cerca del 48% de los glaciares del país, concentrados en la zona sur y austral. Para Iza y Rovere (2006), la vinculación entre áreas protegidas y glaciares es tal vez el único ámbito en que estos recursos hídricos tienen protección en Chile. Pese a lo señalado, se manifiesta en este trabajo la diferencia crítica en cuanto a la protección de glaciares y su distribución geográfica a lo largo del país. Para el caso particular de los glaciares rocosos, solo un pequeño número está protegido dentro del SNASPE (Brenning 2010). Sin embargo, según el artículo 17 de la Ley 18248 del Código Minero (Ministerio de Minería 1983), está permitida la realización de actividades de prospección minera dentro de estas zonas, si se cuenta con la previa autorización del intendente regional respectivo.

Por otra parte, la Ley 19300 sobre Bases Generales de Medio Ambiente (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1994) es la encargada de regular y normar lo referido a la temática ambiental en el país. Como bien señala su nombre, esta ley, que está vigente desde 1994, sustenta en términos generales un proceso ordenador en materia ambiental en el país, no siendo superior a otras legislaciones particulares que regulan ámbitos ligados al agua, suelos, florestas, entre otros. La Ley 19300 establece diversos instrumentos de gestión ambiental, principalmente el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental —en adelante, SEIA—, administrado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y sometido a la supervigilancia del Ministerio del Medio Ambiente.

La Ley 19300, con sus modificaciones en la Ley 20417 del 2010 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2010), indica el tipo de proyectos que deberán someterse a Evaluación de Impacto Ambiental y aclara los criterios para determinar si el proyecto debe efectuar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental —en adelante, EIA—. En particular es el artículo 10 el que establece los tipos de proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al SEIA. Para el caso particular del agua, se establece que deberán someterse a este instrumento los “acueductos, embalses o tranques y sifones, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración significativos de cuerpos o cursos naturales de aguas” (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1994). Herr (2014) subraya que el artículo 3

del reglamento del SEIA complementa la tipología anterior, incluyendo a:

[...] los glaciares que se encuentren incorporados como tales en un Inventario Público a cargo de la Dirección General de Aguas”, añadiéndose, en el literal *a.5*, que se entenderán como proyectos o actividades significativas cuando se trate de “la ejecución de obras o actividades que impliquen alteración de las características del glaciar. (Ministerio del Medio Ambiente 2013)

Si los proyectos o actividades se encuentran con “localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar” (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1994), deberán someterse a un EIA, que, según la normativa ambiental, es un documento que describe pormenorizadamente las características de la iniciativa, debiendo “proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos” (Ley 19300, art. 2, inc. *i*) (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 1994).

Tras lo anterior existen dos inconvenientes. Se recalca que deberán realizar EIA los proyectos o actividades que estén próximos o que puedan afectar a glaciares dentro de áreas protegidas o que se encuentren dentro del Inventario Público de Glaciares pertenecientes a la Dirección General de Aguas —en adelante, DGA—. La distribución, naturaleza, grados de resguardo y conocimientos de glaciares a lo largo del país difieren sustancialmente. Con dichos criterios, buena parte de los glaciares (incluyendo los glaciares rocosos) de la zona semiárida del país no cuentan con protección, ya que existe un número considerable que no se encuentra inventariado ni ha sido estudiado.

Proyecto de protección y preservación de glaciares

Ha habido propuestas legislativas de protección de los glaciares, pero no lograron materializarse. Algunos ejemplos de proyectos de ley son: el de “Creación de zonas libres de contaminación”, de 2004, que involucraba tangencialmente a los glaciares a través de la creación de nuevos instrumentos de protección; o el proyecto de ley de 2005 que buscaba “la prohibición

de ejecutar proyectos de inversión en glaciares”, cuya idea fundamental era impedir cualquier alteración antrópica de los glaciares en Chile. Por ahora, ambas propuestas se encuentran en trámite, sin urgencia en el Parlamento. Tras compromisos ambientales con la candidata presidencial Michelle Bachelet en 2005, el Programa Chile Sustentable y la Sociedad Nacional de Agricultura, en colaboración con el Instituto Geográfico Militar (IGM) y la Fiscalía del Medio Ambiente, entregaron en el 2006 a la Secretaría General de Gobierno el “Proyecto de Ley sobre Protección de Glaciares”, el cual tenía por objeto:

[...] regular la protección de los glaciares, como factores y objetos de seguridad estratégica en la provisión de agua dulce a las cuencas hidrográficas, para responder al mantenimiento de los ecosistemas, abastecer a las poblaciones humanas y a las actividades productivas; en especial a la producción agrícola, la preservación de los valores ambientales, escénicos y de los servicios ambientales que prestan para la conservación de la biodiversidad. (Bórquez et ál. 2006, 90)

La iniciativa contemplaba, entre otras cosas, crear un Consejo Nacional de Glaciares de carácter público-privado que fuera un organismo especializado y con atribución directa y exclusiva sobre la protección de glaciares. Tras presentaciones ante diversos estamentos de la institucionalidad pública chilena, el proyecto de ley ingresó al Parlamento y aún espera sin urgencia su tramitación.

En el 2014, ingresó al Congreso chileno el último proyecto de ley, que busca la “protección y preservación de glaciares, sus ambientes glaciares y periglaciares y [que] regula y prohíbe las actividades que puedan realizarse en ellos”. La propuesta contó con respaldo de un amplio espectro político y logró recoger varias de las ideas de los proyectos pasados. Empero, al poco tiempo sufrió modificaciones por el poder Ejecutivo. A continuación se revisa temporalmente cómo cambió el proyecto. El proyecto de Ley Boletín 9364-12 que ingresa al Congreso en el 2014 tenía por objeto “la preservación y conservación de los glaciares; los ambientes glaciares y periglaciares y el permafrost, definido en esta ley y, de manera supletoria, en la Estrategia Nacional de Glaciares” (Cámara de Diputados de Chile 2014). Claramente, el documento generaba una innovación normativa, al conceptualizar en su artículo 2 lo que es “glaciar, ambiente glaciar, ambiente periglaciar y permafrost” (esta última definición reconocía a los glaciares rocosos dentro de su dominio). Además, reconocía a los glaciares como bienes nacionales

de uso público⁴ y buscaba prohibir todas las actividades que generasen impactos significativos o daños irreversibles, en lo conforme al artículo 2. No obstante, aquella restricción podría leerse como una contradicción normativa en términos de acceso, porque, si los glaciares son públicos, deben estar disponibles para todos los chilenos. Por un lado, se definía glaciar según lo detallado por la Estrategia Nacional de Glaciares, como:

[...] toda superficie de hielo y nieve permanente generada sobre suelo, que sea visible por períodos de al menos 2 años y de un área igual o superior a 0,01 km² (una hectárea), incluyendo superficies rocosas con evidencia superficial de flujo viscoso. (CECS 2009)

Aunque un glaciar no es una superficie (concepto bidimensional), sino un cuerpo o volumen (tridimensional), la definición es útil para identificar y cuantificar morfológicamente las propiedades de los glaciares. Y no solo haciendo referencias a los glaciares blancos que se encuentran a simple vista en superficie, sino también a otros tipos de glaciar, como son los cubiertos y los rocosos, tanto activos como inactivos. Pero en Chile existen glaciares que no presentan movimiento visible de flujo por la topografía que los alberga (Garín 1987) y también se han descrito múltiples glaciares con área inferiores a 0,01 km² (Barsch 1996).

El concepto de ambiente periglacial también deja dudas, al indicarse que comprende aquellas áreas ubicadas por encima de temperaturas medias anuales inferiores a 10 °C. Para Marangunic (Ojo con el Parlamento 2016), el criterio señalado en la propuesta incluiría a toda la región de Magallanes, Aysén y la alta cordillera de Santiago, lo cual es un error. De modo más preciso, el ambiente periglacial es definido por el imperio de mecanismos periglaciares derivados de la alternancia diaria de congelamiento y descongelamiento, procesos que se registran en el entorno del ambiente glacial y que requieren del registro de temperaturas por encima y bajo 0 °C entre el día y la noche, por lo menos estacionalmente, y suficientes para

4 El término “uso público” significa que esos bienes están a “disposición de toda la comunidad”, aun cuando no todas las personas tengan acceso simultáneo e inmediato a ellos. El artículo 598 del Código Civil concede a todos los habitantes del país el derecho a usar y gozar de los bienes nacionales de uso público (Ministerio de Justicia 2000) y sujeta a las disposiciones de ese Código “las ordenanzas generales o locales que sobre esta materia se promulguen” (Dougnaç 2014).

que los procesos de crioclastismo o gelifracción operen efectivamente. Desde un punto de vista pragmático, no menos importante, el proyecto de preservación de glaciares tampoco establece mecanismos ni métodos claros para “preservar” glaciares. El proyecto solo establece explícita la intención de restringir las intervenciones en glaciares y ambientes periglaciares con un sustento normativo.

En el 2015 el proyecto de ley sufre un giro importante. El poder Ejecutivo hace ejercicio de su facultad y genera una serie de indicaciones sustitutivas al proyecto, en el Oficio n.º 1170-362 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2015), con las que cambia su naturaleza. Tras las modificaciones el artículo 1 sobre el objeto de la ley, pasa a señalar que busca “la protección y conservación de los glaciares ubicados en el territorio nacional, que se reconocen como parte del patrimonio ambiental del país, constituyen reservas de agua dulce y proveen servicios ecosistémicos”. Respecto de esta definición, la Corte Suprema (2016, Oficio n.º 110-2016) señaló que genera conflictos, ya que, al sindicarse a los glaciares como “reservas de agua dulce”, se está disponiendo de ellos en un futuro próximo o lejano, sin especificar si es con fines económicos o no, lo que en parte también transgrediría el principio “patrimonio ambiental de Chile”, categoría correspondiente a la de “bien nacional” conforme al inciso 1 del artículo 589 del Código Civil (Ministerio de Justicia 2000), el cual señala que estos no se pueden explotar bajo ningún motivo.

Otro problema que presenta la propuesta del Ejecutivo es la administración y supervigilancia de los glaciares. La DGA quedaría a cargo de los glaciares del país, siendo capaz de “otorgar las autorizaciones y permisos requerido para el desarrollo de actividades en ellos o en su entorno, con excepción de aquellos sometidos a un régimen de protección especial⁵” (modificación al Título III, art. 129 bis 22 del Código de Aguas, Indicación Sustitutiva n.º 1170-362 - Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2015). Se añade más adelante que la DGA tendría la facultad de imponer multas a quienes contravengan la normativa y, por otro lado, la misma institución podría autorizar intervenciones en glaciares, después de haberse realizado el correspondiente EIA. Este último párrafo de la ley de protección y conservación de glaciares propuesta, además de ir contra sus objetivos, entra en conflicto con otras disposiciones. Tal como señalan las observaciones

5 Las figuras de protección especial son: Reservas Estratégicas, Parques y Reservas Nacionales, y Regiones Vírgenes.

presentadas por la Corte Suprema, las sanciones monetarias a los proyectos que no cumplan la normativa ambiental vigente en el país son actualmente responsabilidad de la Superintendencia del Medio Ambiente, con posibilidad de reclamación jurisdiccional ante los Tribunales de Justicia Ambiental (Corte Suprema de Chile 2016). Por lo que, si el poder Ejecutivo pretende traspasar esas facultades a la DGA, se debería establecer un nuevo procedimiento administrativo, el cual no está explicitado en el documento sustitutivo.

Una de las indicaciones del Ejecutivo más conflictivas es la introducción de nuevas figuras de regulación. El artículo 5 del Título I establece la definición la Reserva Estratégica Glaciar, que entiende:

[...] un glaciar o un conjunto de glaciares relacionados, cuando este o estos sean una reserva hídrica relevante para la cuenca donde se ubican y siempre que se trate de una masa de agua terrestre que haya permanecido en estado sólido por al menos diez años. (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2015)

Para desarrollar informes técnicos que avalen la condición de Reserva, se establece que la DGA y el Ministerio de Medio Ambiente serán los encargados de generar el documento, el cual sería finalmente aprobado por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad. De ser aprobado el mencionado informe hídrico y ambiental, implicaría la prohibición de “remoción, traslado, destrucción o cubrimiento con material de descarte” en el glaciar. En el Título II, artículo 6, se detalla que “respecto a estos glaciares, quedarán prohibidas aquellas obras o actividades que se desarrollen en su entorno y que puedan alterarlos de modo significativo” (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2015).

Más adelante, y de manera contradictoria, la propuesta del Ejecutivo señala que la DGA podrá conceder permisos sectoriales ambientales a proyectos interesados en realizar obras en glaciares, siempre y cuando se entregue el respectivo EIA y se garantice la no afectación significativa a la escorrentía de la cuenca. El proyecto sustitutivo también exige otras informaciones al Estudio, como: descripción de la obra; localización y características del glaciar; análisis de los efectos esperados en el glaciar derivados de la obra o el proyecto; descripción de caudales aportados por el glaciar, con y sin proyecto; descripción de medidas que eviten, minimicen, mitiguen o compensen la alteración de la escorrentía aportada por el glaciar; y, finalmente, programas de monitoreo y seguimiento (art. 10,

Indicación Sustitutiva n.º 1170-362 - Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2015). Con tal información se cree obtener un conocimiento de los servicios ecosistémicos de los glaciares. Si el proyecto busca proteger y conservar glaciares, se puede entender como improcedente la última indicación, salvo que efectivamente se pretenda estimular la intervención de glaciares para desarrollar actividades económicas a través del permiso de la máxima autoridad política de la nación.

Debe considerarse, además, que el establecer el real aporte hídrico de los glaciares es muy difícil y costoso, dado que estos son atmosféricos (evaporación y sublimación), superficiales (escorrentía) y subterráneos (infiltración). El monitorear detalladamente los caudales que generan los glaciares conlleva las mismas dificultades en cuanto a la cuantificación de los flujos superficiales y subterráneos de las aguas, pues estos ocurren de forma diversificada y no únicamente por un solo punto. Es claro que el registro de caudales y monitoreo de estos en un solo estero proglaciar es una medición parcial y definitivamente excluyente y subdimensionante.

El artículo 6 del Título II sobre “Regulación de actividades que afecten glaciares” también ha generado controversia, pues añade que “se prohíbe la realización de toda obra, programa o actividades con fines comerciales que se desarrolle en o en el entorno de un glaciar ubicado dentro de una región virgen, reserva nacional o de un parque nacional” (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2015). El proyecto de ley modificado explicita que solo los glaciares que se encuentren en zonas declaradas como Reservas Estratégicas, Parques y Reservas Nacionales o Regiones Vírgenes estarán bajo protección. Sin embargo, y como se detalló anteriormente, la gran mayoría de los glaciares se encuentran en Reservas y Parques Nacionales al sur del país, lo que deja en situación de vulnerabilidad de explotación a los glaciares de las regiones árida y semiárida. Un detalle no menor es que en Chile aún no existe ninguna Reserva de Región Virgen. En este sentido, Segovia (2015, 66) insiste en que “poner en categoría de preservación los glaciares que se encuentren dentro de Parques Nacionales, priva de los servicios ecosistémicos de los glaciares a seis regiones que actualmente presentan complicaciones de escasez hídrica”.

En la propuesta del Ejecutivo, los plazos para la creación de Reservas Estratégicas glaciares tampoco se encuentran estipulados. Menos se explicita el tiempo necesario para la creación de los informes ni plazos de

revisión. Situación similar ocurre con los periodos de aprobación de Reserva que deberían brindar los ministros del Consejo de Sustentabilidad.

Relación conflictiva entre glaciares rocosos y minería

“Caso particular: Andes Cooper en la cabecera del río Putaendo”

La remoción total o parcial de glaciares, la creación de depósitos de lastres sobre la cubierta y la construcción de caminos sobre este tipo de recursos son las principales acciones mineras que han afectado a los glaciares. Janke, Bellisario y Ferrando (2015, 100) concluyen que, “debido a la expansión de la actividad minera a rajo abierto, los glaciares rocosos están siendo removidos para acceder a yacimientos de cobre y oro”⁶. De continuar con este tipo de acciones, se prevé la afectación de la recarga glaciaria y, por ende, de la seguridad de la cuenca intervenida (Programa Chile Sustentable 2013).

La cuenca del río Aconcagua, como parte de los Andes centrales semiáridos, presenta condiciones óptimas para el desarrollo de glaciares rocosos (Brenning 2005, 2008; Lenzano, Trombotto y Leiva 2012). La altitud de la cuenca, sumada a condiciones topoclimáticas de bajos grados de flujo radiativo —por lo encajonado y profundo de los valles—, a lo joven de la geología y a las pronunciadas laderas, que provocan continuas avalanchas de nieve y detritos, son algunas de las condiciones que reúne esta cuenca hidrográfica para ser un buen nicho de poblaciones de glaciares rocosos.

Es en este contexto andino de la cuenca del río Putaendo, provincia de San Felipe, región de Valparaíso, donde se han desarrollado 162 sondajes de prospección minera, los que suman un poco más de 45.000 metros de perforación (Los Andes Copper Ltda. 2016). La compañía dueña de los terrenos y encargada de las prospecciones y del posterior desarrollo del proyecto minero es la firma canadiense Los Andes Copper Ltda. Según ella, el proyecto minero Vizcachitas tendría una vida útil de 28 años, que serán sustentados en la explotación de 8,5 millones de libras de cobre y 281 millones de libras de molibdeno, a un precio de US\$2.75 libra y US\$13.62

6 Texto original: “Because the expansion of open-pit mining, rock glaciers are being removed for access to copper and gold resources”.

libra, respectivamente, estimando gastos iniciales que bordearían los US\$2.900 millones de dólares. Por su parte, la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO 2016), ha realizado exitosos sondajes y exploraciones en esta área, la que se ubica dentro de la franja metalogénica de la cordillera de los Andes comprendida entre los 32° y 34° de latitud Sur. Esta ha sido catalogada como el segundo cinturón de yacimientos más importantes del país, con pórfidos de cobre de clase mundial. En términos de competitividad, el proyecto Vizcachitas se ubica en la misma franja metalogénica de yacimientos como El Teniente, Los Bronces-Río Blanco o Los Pelambres. Por ello, Andes Copper se considera un proyecto minero que “crece en tierra de gigantes” (*Minería Chilena 2008*). El área de exploración y explotación minera alcanza los 250 km², de los cuales solo se han sondeado de manera significativa 9 km² (Los Andes Copper Ltda, 2016).

La altitud de los terrenos de Andes Copper va desde los 1.800 a más de 3.400 m.s.n.m., con un promedio aproximado de 2.100 m.s.n.m., mientras que la localización del campamento minero se encuentra cercana a los 1.940 m.s.n.m. Las concesiones mineras del proyecto se localizan principalmente en las cajas medias de los ríos Rocín e Hidalgo, ambos tributarios del río Putaendo, uno de los principales afluentes del río Aconcagua (figura 4).

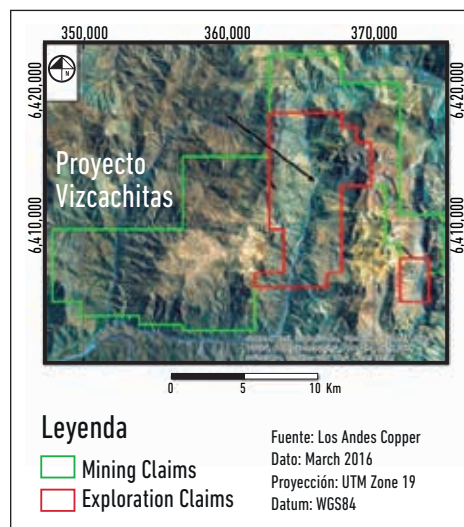


Figura 4. Localización del campamento minero, concesiones de exploración (en verde) y concesiones mineras (en rojo) en la cuenca del río Putaendo.

Fuente: Los Andes Copper Ltda. 2016.

La cuenca del río Putaendo tiene una extensión de 1.192 km² y una longitud de 85 km (Dirección General de Aguas 2004). Su nacimiento es resultado

de la confluencia del río Rocín desde el este y el Estero Chalaco desde el noroeste, a una altitud de 1.218 m.s.n.m. El río Putaendo es uno de los tributarios más significativos del río Aconcagua, afluente de importancia determinante para la cuenca, pues drena un área de unos 7.163 km² (45% de la Región de Valparaíso), sustentando la demanda de riego, industria, minería y uso doméstico, que supera los 500 millones de m³ de agua al año, principalmente en la zona media e inferior del valle donde habita casi el 30% de la población regional (Martínez, Fernández y Rubio 2012). Las actividades productivas que se desarrollan en los valles del semiárido y la supervivencia de los modos de vida y la cultura dependen de la provisión de agua y, por tanto, de las dinámicas hídricas que ocurren en la alta montaña, por lo que las actividades que afectan o degradan glaciares rocosos poseen un notable componente social.

Uno de los instrumentos de planificación territorial que tienen las comunas de Chile es el Plan de Desarrollo

Comunal —en adelante, PLADECO—. El último PLADECO de Putaendo (Macrocap S.A. 2009) asegura que la zona carece de glaciares (blancos). Empero, Martínez, Fernández y Rubio (2012) demuestran que, entre 1950 y 2000, el caudal de verano del río Aconcagua, en la estación de monitoreo en Putaendo, ha aumentado en relación con el alza de las temperaturas producto del fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation). El estudio detalla que “se ha establecido una relación entre el aumento de las temperaturas y las precipitaciones con el proceso de deglaciación que estaría afectando los glaciares de la zona central de Chile” (2012, 244).

Para comprender el fenómeno, se hizo una revisión de la zona cordillerana de Putaendo a través de imágenes provistas por el programa Google Earth Pro versión 7.1.5.1557. Utilizando los criterios morfológicos de interpretación y clasificación propuestos por Janke, Bellisario y Ferrando (2015) se lograron identificar al menos cuarenta glaciares rocosos en la subcuenca del río Hidalgo

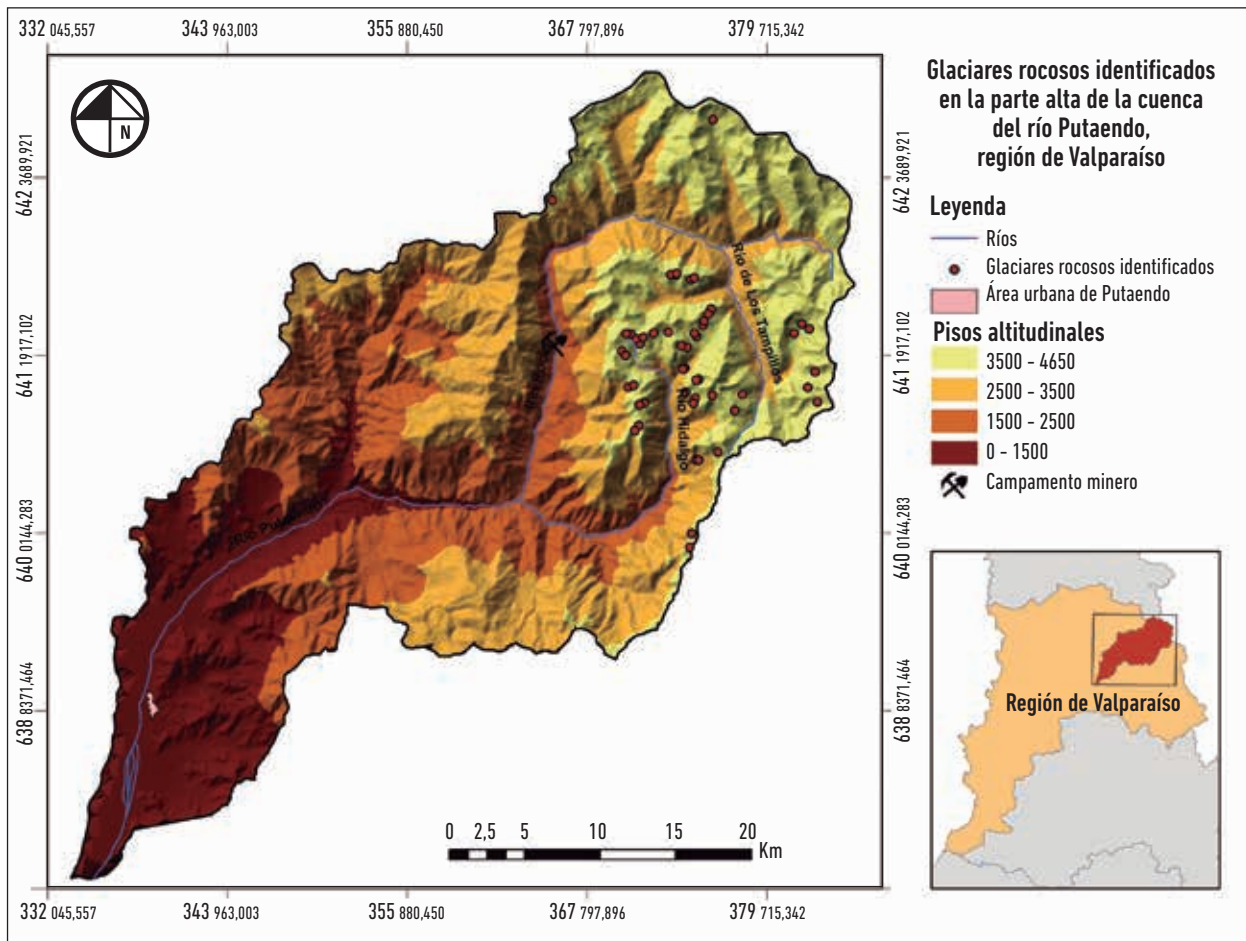


Figura 5. Glaciares rocosos identificados en la parte alta de la cuenca del río Putaendo. La mayor concentración de glaciares rocosos se registra en la subcuenca del río Hidalgo.

Tabla 2. Glaciares rocosos significativos en la subcuenca del río Hidalgo, cuenca del río Putaendo

N.º	Ubicación	Largo medio (km)	Ancho medio (km)	Cota media (m.s.n.m.) del glaciar	Área en km ²	Orientación zona de acumulación	Orientación zona de fusión	Espesor medio (m)*	Agua en km ^{3**}	Forma	Clasificación Janke, Bellisario y Ferrando (2015)	Año de imagen
1	32°27'03" S 70°19'02" W	1,82	0,28	3.620	0,509	S	SSO	0,0224	0,00513	Lengua	I	2013
2	32°29'11" S 70°19'42" W	1,71	0,24	3.275	0,410	S	SO	0,0207	0,00382	Lengua	I	2013
3	32°29'09" S 70°19'49" W	1,21	0,19	3.190	0,229	S	SO	0,0167	0,00173	Lengua	I	2013
4	32°25'05" S 70°20'07" W	0,58	0,31	3.670	0,179	SO	SE	0,0154	0,00124	Talud	I	2013
5	32°27'05" S 70°19'53" W	0,78	0,18	3.490	0,140	SO	SO	0,0141	0,00089	Talud	I	2013

Nota: * Calculado con base en la relación empírica de Espesor Medio, formulada por Chen y Ohmura (1990). La fórmula, de características conservadoras, ha sido validada con sondeos sísmicos en 63 glaciares de montaña de los Alpes y su aplicación ha sido parte de los estudios de Azócar y Brenning (2010), Brenning (2005), Ferrando (2012), Torres, Brenning y García (2013) y Segovia (2015). Fórmula de Espesor Medio: $\text{espesor (m)} = 28,5 (\text{área en km}^2)^{0,357}$.

** Al área en km² por el Espesor Medio se le aplicó un factor de 0,5, que es equivalente al porcentaje de hielo estimado para glaciares rocosos (Barsch 1996; Brenning 2005; Segovia 2015). Lo anterior se multiplica por 0,9, que corresponde a la densidad de hielo establecida por Paterson ([1969] 1994). Tal como resume Segovia (2014), la ecuación para estimar el equivalente en agua de los glaciares rocosos es: $\text{equivalente en agua (km}^3) = [(\text{área en km}^2 \times \text{Espesor Medio en km}) \times 0,5] \times 0,9$.

(tributario del río Rocín), a una altura superior a los 3.500 m.s.n.m. (figura 5). De las macroformas, al menos 5 poseen características significativas en términos geomorfológicos e hídricos (tabla 2).

La zona de Putaendo presentar una variedad de glaciares rocosos que no se encuentran descritos en los Instrumentos de Planificación Territorial ni en anteriores publicaciones académicas. A pesar de que en estudios anteriores (Baraona, Aranda y Santana 1961) se llamó la atención acerca de la falta de estudios en la zona de alta montaña que permitieran explicar el régimen hídrico y sedimentario del río Putaendo, hasta la fecha no se han desarrollado investigaciones detalladas sobre los recursos glaciares de esta parte de la cuenca del río Aconcagua. Por tanto, este trabajo constituye un primer acercamiento a la temática. En paralelo se han registrado movimientos sociales que demandan más investigación respecto a glaciares rocosos y recientemente la faena minera se ha comprometido a brindar estudios detallados sobre la dinámica glaciar y las eventuales afectaciones que la producción podría tener sobre estos recursos.

Conclusiones

En un escenario de Cambio Climático Global y creciente presión minera, los glaciares rocosos se consideran

recursos hídricos estratégicos que exigen un marco normativo regulatorio, pues sus respuestas conservadoras al aumento de la temperatura externa están relacionadas con la cobertura superficial escombros. Los pocos trabajos que han intentado comprender la significancia hidrológica de los glaciares rocosos para el semiárido han coincidido en que existe una superficie extensa cubierta por este tipo de geoformas, que garantizan escorrentías en periodos cálidos y secos.

Ante la falta de datos hidrológicos en terreno, se observa con preocupación que una de las principales amenazas de los glaciares rocosos sea la minería. Chile depende económicamente de esta actividad productiva, pero, si no se genera un marco regulatorio del uso e intervención de este tipo de recursos, también se podría exponer a las partes bajas de las cuencas a un riesgo de suministro de agua. A modo de recomendación, se estima conveniente que la actividad minera invierta en:

1. Mejorar sustancialmente las tecnologías extractivas.
2. Procurar un destino de los estériles de modo que no afecten las reservas de agua en estado sólido (glaciares blancos y rocosos, nieve, permafrost).
3. Nula pérdida de calidad del recurso hídrico (nula contaminación).
4. Mejorar el sistema de transporte de materiales y minerales o reemplazarlo por otro de mínimo impacto.

5. Medidas compensatorias directas, es decir, orientadas a la recuperación de los sistemas hídricos y los ecosistemas dañados, y/o al daño productivo, social y cultural.

El análisis de la evolución normativa respecto a la protección o conservación de glaciares muestra falta de coherencia entre cuerpos legislativos, lo que finalmente repercute en una gestión fragmentada y desorganizada del recurso. Los conceptos glaciológicos y las figuras de protección tampoco están claramente definidos en las últimas propuestas de ley. Un ejemplo de ello son las referencias de permafrost, Reservas Estratégicas o Regiones Vírgenes. Se advierte que, si no hay un abordaje legislativo-conceptual claro, la implementación de normativas puede traer más consecuencias negativas que beneficios, sobre todo en lo referido a los campos de operación de instituciones gubernamentales.

Queda claro que las catorce indicaciones sustitutivas del Ejecutivo son permisivas del desarrollo de proyectos y actividades en glaciares y zonas no declaradas como Reservas Estratégicas, lo que constituye un retroceso en la protección del medio ambiente y la seguridad hídrica. Para revertir la situación y consolidar una política pública que aborde la temática glaciaria e hídrica de manera integrada, se recomienda un trabajo mancomunado entre las instituciones públicas y privadas que no deje de lado las consideraciones que puedan realizar las comunidades locales. Solamente un trabajo de tal naturaleza podría garantizar una gobernanza y una relativa sustentabilidad en la gestión de este tipo de recursos.

Finalmente, respecto del proyecto minero que actualmente se está desarrollando en la localidad de Putaendo, movimientos sociales han reclamado estudios sobre la dinámica e hidrología de los glaciares rocosos de la parte alta de la cuenca. A partir de interpretación morfológica, se identificaron cerca de cuarenta glaciares rocosos en la subcuenca del río Hidalgo, tributario del Putaendo. Cinco de ellos presentan actividad y magnitudes significativas. Debido a la carencia de glaciares blancos, se infiere que este tipo de glaciares desempeña un papel relevante en el abastecimiento hídrico de la zona.

Referencias

- Ahumada, Ana Lia. 1992. "Periglacial Climatic Conditions and Vertical Form Associations in Quebrada Benjamín Matienzo, Mendoza, Argentina." *Permafrost and Periglacial Processes* 3 (3): 221-224. doi: 10.1002/ppp.3430030308.
- Arenson, Lukas U., y Matthias Jakob. 2010. "The Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes - A Discussion of Azócar and Brenning (2010) and Brenning and Azócar (2010)." *Permafrost and Periglacial Processes* 21 (3): 282-285. doi: 10.1002/ppp.693.
- Azócar, Guillermo, y A. Brenning. 2010. "Hydrological and Geomorphological Significance of Rock Glaciers in the Dry Andes, Chile (27°-33°S)." *Permafrost and Periglacial Processes* 21 (1): 42-53. doi: 10.1002/ppp.669.
- Azócar, Guillermo. 2013. "Modeling of Permafrost Distribution in the Semi-arid Chilean Andes." Tesis de maestría, University of Waterloo, Canada.
- Baraona, R., X. Aranda, y R. Santana. 1961. *Valle de Putaendo: estudio de estructura agraria*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Barnett, T. P., J. C. Adam, y D. P. Lettenmaier. 2005. "Potential Impacts of a Warming Climate on Water Availability in Snow-dominated Regions." *Nature* 438 (7066): 303-309. doi: 10.1038/nature04141.
- Barsch, Dietrich. 1992. "Permafrost Creep and Rockglaciers." *Permafrost and Periglacial Processes* 3 (3): 175-188. doi: 10.1002/ppp.3430030303.
- Barsch, Dietrich. 1996. *Rockglaciers: Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*. Berlín: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-80093-1.
- Bauer, Carl J. 2002. *Contra la corriente: privatización, mercados de agua y el Estado de Chile*. Santiago: LOM.
- Bauer, Carl J. 2008. *The Experience of Chilean Water Markets*. Zaragoza: Expo Zaragoza.
- Bauer, Carl J. 2015. "Water Conflicts and Entrenched Governance Problems in Chile's Market Model." *Water Alternatives* 8 (2): 147-172.
- Bellisario, Antonio, Francisco Ferrando, y Jason Janke. 2013. "Water Resources in Chile: The Critical Relation between Glaciers and Mining for Sustainable Water Management." *Investigaciones Geográficas* 46:3-24.
- Berger, Jana, Karl Krainer, y Wolfram Mostler. 2004. "Dynamics of an Active Rock Glacier (Ötztal Alps, Austria)." *Quaternary Research* 62 (3): 233-242. doi: 10.1016/j.yqres.2004.07.002.
- Berland, Alexander. 2016. *Glaciares en Chile semiárido: cambio climático, minería y seguridad hídrica*. Informe presentado a Chile Sustentable. Consultado en julio de 2016. <http://www.chilesustentable.net/wp-content/uploads/2016/07/Glaciares-en-Chile-semi%C3%A1rido-cambio-clim%C3%A1tico-miner%C3%ADa-y-seguridad-h%C3%ADrica.pdf>
- Bodin, X., F. Rojas, y A. Brenning. 2010. "Status and Evolution of the Cryosphere in the Andes of Santiago (Chile,

- 33.5° S).” *Geomorphology* 118 (3-4): 453-464. doi: 10.1016/j.geomorph.2010.02.016.
- Bórquez, Roxana, Sara Larraín, Rodrigo Polanco, y Juan Carlos Urquidí. 2006. *Glaciares chilenos: reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad, los ecosistemas y la economía*. Santiago: Programa Chile Sustentable, LOM.
- Brenning, Alexander. 2003. “La importancia de los glaciares de escombros en los sistemas geomorfológico e hidrológico de la cordillera de Santiago: fundamentos y primeros resultados.” *Revista de Geografía Norte Grande* 30:7-22.
- Brenning, Alexander. 2005. “Climatic and Geomorphological Controls of Rock Glaciers in the Andes of Central Chile: Combining Statistical Modelling and Field Mapping.” Tesis de doctorado, Humboldt University, Berlín.
- Brenning, Alexander. 2008. “The Impact of Mining on Rock Glaciers and Glaciers: Examples From Central Chile.” En *Darkening Peaks: Glacier Retreat, Science, and Society*, editado por B. S. Orlove, E. Wiegandt y B. Luckman, 196-205. Berkeley: University of California Press.
- Brenning, Alexander. 2010. “The Significance of Rock Glaciers in The Dry Andes - Reply to L. Arenson and M. Jakob.” *Permafrost and Periglacial Processes* 21 (3): 286-288. doi: 10.1002/ppp.702.
- Brenning, Alexander, y Guillermo F. Azócar. 2010. “Minería y glaciares rocosos: impactos ambientales, antecedentes políticos y legales, y perspectivas futuras.” *Revista de Geografía Norte Grande* 47:143-158. doi: 10.4067/S0718-34022010000300008.
- Brenning, Alexander, Shilei Long, y Paul Fieguth. 2012. “Detecting Rock Glacier Flow Structures Using Gabor Filters and IKONOS imagery.” *Remote Sensing of Environment* 125:227-237. doi: 10.1016/j.rse.2012.07.005.
- Burger, K. C., J. J. Degenhardt, y J. R. Giardino. 1999. “Engineering Geomorphology of Rock Glaciers.” *Geomorphology* 31:93-132. doi: 10.1016/S0169-555X(99)00074-4.
- Cámara de Diputados de Chile. 2014. “Boletín 9364-12: Moción parlamentaria que establece una ley de protección y preservación de glaciares que indica, sus ambientes glaciares y periglaciares y regula y prohíbe las actividades que puedan realizarse en ellos.” Consultado en julio de 2016. <https://www.camara.cl/sala/verComunicacion.aspx?comuid=11484&formato=pdf>
- Carrasco, Jorge F., Gino Casassa, y Juan Quintana. 2005. “Changes of the 0 °C Isotherm in Central Chile During the Last Quarter of the 20th Century.” *Hydrological Sciences Journal* 50 (6): 933-948. doi: 10.1623/hysj.2005.50.6.933.
- CECS (Centro de Estudios Científicos). 2009. *Estrategia nacional de glaciares: fundamentos*. Santiago: Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Aguas.
- Chen, Jiyang, y Atsumu Ohmura. 1990. “Estimation of Alpine Glacier Water Resources and their Change since the 1870s.” En *Hydrology in Mountainous Regions I: Hydrological Measurements; The Water Cycle*, editado por H. Lang y A. Musty, 127-135. Oxfordshire-Reino Unido: International Association of Hydrological Sciences (IAHS).
- COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). 2016. *Franjas metalogénicas de los Andes centrales: blancos clave para la exploración minera*. Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Consultado en julio de 2016. <https://goo.gl/7BhQcp>
- Corte Suprema de Chile. 2016. “Oficio n.º 110-2016: Informe Proyecto de Ley n.º 26-2016.” Consultado en julio de 2016. <http://olca.cl/oca/justicia/INFORME-PROYECTO-DE-LEY-DE-GLACIARES.pdf>
- Corte, A. 1976. “The Hydrological Significance of Rock Glaciers.” *Journal of Glaciology* 17 (75): 157-158. doi: 10.3189/S0022143000030859.
- Croce, Flavia A., y Juan P. Milana. 2002. “Internal Structure and Behaviour of a Rock Glacier in the Arid Andes of Argentina.” *Permafrost and Periglacial Processes* 13 (4): 289-299. doi: 10.1002/ppp.431.
- Degenhardt, John J. 2009. “Development of Tongue-Shaped and Multilobate Rock Glaciers in Alpine Environments-Interpretations from Ground Penetrating Radar Surveys.” *Geomorphology* 109:94-107. doi: 10.1016/j.geomorph.2009.02.020.
- Dirección General de Aguas. 2004. *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del río Aconcagua*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Aguas.
- Dougnac, Fernando. 2014. “Observaciones al proyecto de conservación de glaciares.” Consultado en julio de 2016. <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=18951&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>
- Ferrando, Francisco J. 2002. “Cuenca del río Limarí, Chile semiárido: aspectos de la oferta y demanda de agua.” *Revista de Geografía Norte Grande* 30:23-44.
- Ferrando, Francisco J. 2012. “Glaciar Pirámide: características y evolución reciente de un glaciar cubierto; evidencias del cambio climático.” *Investigaciones Geográficas* 44:57-74.
- Ferrando, Francisco J., María Victoria Soto Bäuerle, Rosemari Vieira, Heiner Lange, Jorge Quinteros Mira, y José Araos. 2003. “Permafrost en los Andes del Sur: glaciares rocosos en la región semiárida de Chile y su importancia como recurso hídrico.” Ponencia presentada en el 9^o Encuentro de Geógrafos de América Latina, Mérida, México, 22 al 24 de abril.

- Garín, Carlos. 1987. "Inventario de los glaciares de los Andes Chilenos desde los 18° a los 32° de latitud Sur." *Revista de Geografía Norte Grande* 14:35-48.
- Giardino J. R., J. F. Schroder Jr, y J. D. Vitek, eds. 1987. *Rock Glaciers*. Londres: Allen & Unwin.
- GWP (Asociación Mundial del Agua). 2000. *Manejo integrado de recursos hídricos*. TAC Background Papers n.º 4. Estocolmo: Asociación Mundial para el Agua (GWP) - Comité de Consejo Técnico (TAC).
- Haeblerli, Wilfried. 1985. *Creep of Mountain Permafrost: Internal Structure and Flow of Alpine Rock Glaciers*. Zürich: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie - Eidgenössische Technische Hochschule.
- Haeblerli, Wilfried, Bernard Hallet, Lukas Arenson, Roger Elconin, Ole Humlum, Andreas Käab, Viktor Kauffmann, Branko Ladanyi, Norikazu Matsuoka, Sarah Springman, y Daniel Vonder. 2006. "Permafrost Creep and Rock Glacier Dynamics." *Permafrost and Periglacial Processes* 17 (3): 189-214. doi: 10.1002/ppp.561.
- Herr, Leslye. 2014. "Los glaciares y su protección jurídica en Chile." Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Humlum, Ole. 1998. "The Climatic Significance of Rock Glaciers." *Permafrost and Periglacial Processes* 9 (4): 375-395. doi: 10.1002/(SICI)1099-1530(199810/12)9:4<375::AID-PPP301>3.0.CO;2-O.
- Iza, Alejandro, y Marta Brunilda Rovere, eds. 2006. *Aspectos jurídicos de la conservación de los glaciares*. Suiza: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).
- Janke, Jason R., Antonio C. Bellisario, y Francisco Ferrando Acuña. 2015. "Classification of Debris-Covered Glaciers and Rock Glaciers in the Andes of Central Chile." *Geomorphology* 241:98-121. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.03.034.
- Lenzano, María Gabriela, Darío Trombotto Liaudat, y Juan Carlos Leiva. 2012. "Monitoreo del glaciar horcones inferior y sus termokarst, antes y durante el surge de 2003-2006: Andes centrales argentinos." *GEOACTA* 37 (2): 117-129.
- Linton, Jimie, y Jessica Budds. 2014. "The Hydrosocial Cycle: Defining and Mobilizing a Relational-Dialectical Approach to Water." *Geoforum* 57:170-180. doi: 10.1016/j.geoforum.2013.10.008.
- Los Andes Copper Ltda. 2016. "Growing in the Land of Giants." Consultado en julio de 2016. <http://www.losandescopper.com/>
- Macrocap S.A. 2009. *PLADECO Puetaendo 2010-2014: actualización plan de desarrollo comunal de Puetaendo*. Puetaendo - Chile: Municipalidad de Puetaendo.
- Marangunic, Cedomir. 1976. "El glaciar de roca Pedregoso, río Colorado, V región." Ponencia presentada en el *Primer Congreso Geológico Chileno*, Santiago de Chile, 2 al 7 de agosto.
- Martínez, Carolina, Alfonso Fernández, y Patricio Rubio. 2012. "Caudales y variabilidad climática en una cuenca de latitudes medias en Sudamérica: río Aconcagua, Chile Central (33° S)." *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 58:227-248.
- Minería Chilena. 2008. "En 2011 partirían obras de Vizcachitas." 23 de junio. <http://www.mch.cl/reportajes/en-2011-partirian-obras-de-vizcachitas/#>
- Ministerio de Agricultura. 1984. "Ley 18362: crea un Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado." *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Consultado en julio de 2016. <http://bcn.cl/1uyk3>
- Ministerio de Justicia. 1981. "Decreto con Fuerza de Ley n.º 1.122: Fija texto del Código de Aguas." *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Consultado en julio de 2016. <http://bcn.cl/23k4g>.
- Ministerio de Justicia. 2000. "Decreto con Fuerza de Ley n.º 1: Fija texto refundido, coordinado y sistematizado del Código Civil; de la ley n.º 4.808, sobre registro civil, de la ley n.º 17.344, que autoriza cambio de nombres y apellidos, de la ley n.º 16.618, ley de menores, de la ley n.º 14.908, sobre abandono de familia y pago de pensiones alimenticias, y de la ley n.º 16.271, de impuesto a las herencias, asignaciones y donaciones." *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Consultado en julio de 2016. <http://bcn.cl/1uvtf>
- Ministerio del Medio Ambiente. 2011. *Las áreas protegidas de Chile: antecedentes, institucionalidad, estadísticas y desafíos*. Santiago de Chile: Ministerio del Medio Ambiente.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2013. "Decreto 40: aprueba reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental." Consultado en julio de 2016. http://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2016/01/12/dto-40_12-ago-2013.pdf
- Ministerio de Minería. 1983. "Ley 18248: Código de Minería." *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Consultado en julio de 2016. <http://bcn.cl/1uxkh>
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 1994. "Ley 19300: aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente." *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Consultado en julio de 2016. <http://bcn.cl/1vz37>
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 1980. "Constitución Política de la República de Chile." *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Consultado en julio de 2016. <http://bcn.cl/21hoj>
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 2010. "Ley 20417: Crea el ministerio, el servicio de evaluación ambiental y la superintendencia del medio ambiente." *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Consultado en julio de 2016. <http://bcn.cl/1v5ap>

- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 2015. "Oficio n.º 1170-362: Formula Indicación Sustitutiva al proyecto de ley que establece Ley de Protección y Preservación de Glaciares (Boletín n.º 9364-12)." Consultado en julio de 2016. <http://docplayer.es/38399333-Formula-indicacion-sustitutiva-al-proyecto-de-ley-que-establece-ley-de-proteccion-y-preservacion-de-glaciares-boletin-n.html>
- Monnier, Sébastien, y Christophe Kinnard. 2015. "Reconsidering the Glacier to Rock Glacier Transformation Problem: New Insights from the Central Andes of Chile." *Geomorphology* 238:47-55. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.02.025.
- Ojo con el Parlamento. 2016. "Fernando Dougnac, director de Fima y Cedomir Marangucic, Director de Geoestudios presentan su opinión sobre el Proyecto de Ley de Glaciares." Consultado en septiembre de 2016. <http://www.ojoconelparlamento.cl/2014/07/21/fernando-dougnac-director-de-fima-y-cedomir-marangucic-directo-de-geoestudios-presentan-su-opinion-sobre-el-proyecto-de-ley-de-glaciares/>
- Paterson, W. S. B. (1969) 1994. *The physics of glaciers*, 3 ed. Oxford: Pergamon.
- Pereira, Mauricio, Andrés Ulloa, Raúl O'Ryan, y Carlos J. De Miguel. 2009. Síndrome holandés, regalías mineras y políticas de gobierno para un país dependiente de recursos naturales: el cobre en Chile, n.º 140 de la serie *Medio Ambiente y Desarrollo*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Programa Chile Sustentable. 2013. *Glaciares y minería: continúa la destrucción de los glaciares*. Santiago de Chile: Fundación Heinrich Böll Stiftung.
- Schmid, M. O., P. Baral, S. Gruber, S. Shahi, T. Shrestha, D. Stumm, y P. Wester. 2015. "Assessment of Permafrost Distribution Maps in the Hindu Kush Himalayan Region Using Rock Glaciers Mapped in Google Earth." *The Cryosphere* 9:2089-2099. doi: 10.5194/tc-9-2089-2015.
- Schrott, L. 2002. "Hidrología del permafrost de montaña y su relación con la radiación solar. Estudio de una cuenca colectora en agua negra, altos Andes de San Juan, Argentina." En *IANIGLA 1973-2003: 30 años de investigación básica y aplicada en Ciencias Ambientales*, editado por Darío Trombotto y Ricardo Villalba, 83-87. Mendoza: ZETA
- Segovia, Alexis. 2014. "Caracterización glaciológica de Chile y valoración de servicios ecosistémicos de glaciares en base a mercados reales (estudio de caso del Monumento Natural El Morado)." Tesis de maestría, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Segovia, Alexis. 2015. "Glaciares en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE)." *Investigaciones Geográficas* 49:51-68.
- Shroder, John F., Michael P. Bishop, Luke Copland, y Valerie F. Sloan. 2000. "Debris-Covered Glaciers and Rock Glaciers in the Nanga Parbat Himalaya, Pakistan." *Geografiska Annaler* 82 (1): 17-31. doi: 10.1111/j.0435-3676.2000.00108.x.
- Torres, Héctor J., Alexander Brenning, y Juan-Luis García. 2013. "Balance de masa del glaciar cubierto del Pirámide (Chile Central, 33°S) entre 1965 y 2000 aplicando métodos geodésicos." *Revista de Geografía Espacios* 3 (5): 11-25.
- Trombotto L., Darío, Pablo Wainstein, y Lukas U. Arenson. 2014. *Guía Terminológica de la Geociología Sudamericana: Terminological Guide of the South American Geocryology*. Buenos Aires: Vázquez Mazzini.

Lecturas recomendadas

- Abele, G. 1984. "Derrumbes de montaña y morrenas en los Andes chilenos." *Revista de Geografía Norte Grande* 11:17-30.
- AMEC-Cade. 2008. *Estudio de Impacto Ambiental: Embalse Chacillas*. Informe Final. Ministerio de Obras Públicas - Dirección de Obras Hidráulicas.
- Demuth, Michael N. 2012. *Becoming Water: Glaciers in a Warming World*. Vancouver: RMB.
- Dirección General de Aguas. 2014a. *Glaciares de Chile*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Aguas.
- Dirección General de Aguas. 2014b. *Pronóstico de disponibilidad de agua temporada de riego 2014-2015*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Aguas.
- Dirección General de Aguas. 2016. "Región de Valparaíso: precipitaciones." Consultado en septiembre de 2016. <http://pronostico.dga.cl/detallesRegion.html#precipitaciones>
- Fávero, Gabriel del. 1994. "Ley sobre bases generales del medio ambiente." *Estudios Públicos* 54:63-82.
- Ferrando, Francisco J. 2003. "Aspectos conceptuales y genético-evolutivos de los glaciares rocosos: análisis de caso en los Andes semiáridos de Chile." *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 48:43-74.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. *Cambio climático 2014: informe de síntesis*. Ginebra - Suiza: IPCC.
- Milana, Juan Pablo, y Arturo Güell. 2008. "Diferencias mecánicas e hídricas del permafrost en glaciares de rocas glaciogénicos y criogénicos, obtenidas de datos sísmicos en El Tapado, Chile." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (3): 310-325.
- Romero Toledo, Hugo, Hugo Romero Aravena, y Ximena Toledo Olivares. 2009. "Agua, poder y discursos en el conflicto socio-territorial por la construcción de represas hidroeléctricas en la Patagonia Chilena." *Anuario de Estudios Americanos* 66 (2): 81-103.

Hans Andrés Fernández Navarro

Geógrafo y Licenciado en Geografía, Universidad Academia de Humanismo Cristiano; Magíster en Gobernanza en Riesgos y Recursos de la Universidad de Heidelberg–Heidelberg Center América Latina. Actual Doctorante en Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Profesor en la Escuela de Geografía de la Universidad Academia de Humanismo Cristiano. Los temas de interés están vinculados a geomorfología glaciar, deglaciación holocénica, procesos sedimentarios y manejo de recursos hídricos.

Francisco José Ferrando Acuña

Geógrafo, Universidad de Chile, Doctor en Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza (España). Profesor titular de las cátedras de Hidrología, Introducción a la Glaciología y Riesgos Naturales, carrera de Geografía, y Profesor de Posgrado en el Magíster en Geografía de la Universidad de Chile. Ha sido miembro de equipos de investigación nacionales e internacionales con Brasil, Argentina y Perú.