

Nieves y Glaciares: Recursos Hídricos en la Cuenca del Maipo

Stephanie Joyce, Middlebury College

Introducción

La provisión de suficientes recursos hídricos se está volviendo un problema mundial, agravado por una población creciente, un aumento de migración hacia centros urbanos y el calentamiento global antropogénico, con una creciente demanda y un suministro encogiéndose. La Región Metropolitana de Chile, que contiene Santiago, la capital, y más de 40% de los 15 millones habitantes de Chile, está especialmente sujeta a problemas de agua por su alta dependencia en las nieves y los glaciares de la Cordillera de los Andes por sus recursos de agua. A pesar de la importancia las nieves y los glaciares como recursos hídricos para este área, han recibido muy poca atención por parte del gobierno y la comunidad científica. La falta de información ha generado una abundancia de especulación e información pública errónea, especialmente en la prensa nacional, acerca de los recursos hídricos actuales y futuros de la región. Un artículo del 3 de noviembre 2008 en *La Tercera* sugirió que el Glaciar Echaurren Norte, un glaciar de 0,4 km², abastece todo Santiago de agua y que se iba a desaparecer dentro de los próximos 50 años a causa del calentamiento global (Acevedo 2008). Artículos parecidos han sido publicados en *La Nación* (Mitchell 2009) y *El Mercurio* (Zúñiga 2009) en los últimos seis meses. El carácter alarmante de la información ha extendido más allá de una audiencia nacional, alcanzando la pública y legisladores mundialmente a través de cobertura por la prensa internacional. No hay evidencia para apoyar a estas afirmaciones, sin embargo, la escasez de información acerca de los glaciares y las nieves de la Cuenca del Maipú y su contribución hídrica provoca preocupación. La información disponible es principalmente escrito para un lector ya versado en el tema y hay muy poca síntesis para un público general. La falta de información contribuye a la confusión general acerca del tema, especialmente en cuanto a la disponibilidad y fiabilidad del agua en el futuro. El propósito de esta investigación es de sintetizar la información relevante que está disponible acerca del cambio climático regional, tendencias de nieves y glaciares en el área, uso y consumo de agua en la Cuenca y las decisiones políticas relevantes.

Geografía

La Cuenca del Maipo extiende de 32°55'N a 34°15'S y de 69°55'W a 71°33'W, incorporando a toda la Región Metropolitana y una pequeña porción de la V Región, juntando a más de 15 esteros y ríos (Cade-Idepe 2004). Existe variabilidad entre las estimaciones de su área total pero la mayoría de los estudios citan cifras entre 15,000 km² y 15500 km². Los afluentes cordilleranos más importantes de la Cuenca son los ríos Volcán, Colorado, Olivares y Yeso, que se juntan al río Maipo en el Maipo Alto, lo cual luego baja hacia el valle central y la periferia sur de la ciudad. El río Mapocho, que trae agua desde el norte hacia la capital es otro afluente importante del Río Maipo, juntándose con ello al oeste de la ciudad. Los afluentes principales del Río Mapocho son Estero Yerba Loca, Estero Arrayan y Río Molina (véase mapa 1).

La Región Metropolitana se centra en la zona centro-norte del país, que está caracterizado por un clima mediterráneo, experimentando un máximo de precipitación durante el invierno austral (mayo-agosto). Estas precipitaciones invernales

constituyen alrededor de 80% de la precipitación anual y sobre los 2500m, normalmente caen como nieve. La tasa de precipitación aumenta hacia la Cordillera de los Andes junto con una disminución de temperatura, lo cual permite la formación de los glaciares andinos de la región (Dirección Meteorológica de Chile).

La Región Metropolitana abarca una gran variedad de topografía, con la Cordillera de los Andes alcanzando más de 6000m al este y el Océano Pacífico solamente 10 kilómetros de su límite máximo al oeste. Santiago, a un promedio de 560 m s.n.m, está ubicado en el Valle Central, entre la Cordillera de la Costa, que alcanza 2.388 en Morro Chache y la Cordillera de los Andes. Los vientos preponderantes del oeste resultan en mayor precipitación y nubosidad en las dos cordilleras que en el Valle Central, con el resultado que el Valle Central recibe poca precipitación.

De acuerdo al censo de 2002 la Región Metropolitana de Chile contaba con 40% de la población total de Chile (INE 2002), y sigue creciendo. Un promedio de 10.155 permisos para construcción de viviendas fueron otorgados dentro de Gran Santiago por año entre los años 2003 y 2007 (Corporación para el Desarrollo de Santiago 2008). Junto con una gran parte de la población de la nación, la Región Metropolitana cuenta con una concentración importante de agricultura e industria. Aunque la Región Metropolitana tiene un área de solamente 2% del área total del país, contribuye casi 15% del producto bruto interno (PIB) agroalimentario (ODESA 2005) y más de 40% del PIB total (Banco Central de Chile 2003). Esta alta densidad de población, agricultura e industria tiene una alta demanda de agua que requiere planificación prudente para asegurar su futura disponibilidad.

Demanda de Agua

Según un estudio contratado por la Dirección General de Aguas (DGA) en 2007, al sumar las demandas consuntivas y no consuntivas de la Región Metropolitana, la demanda por fines humanos alcanza 256,3 m³/s (Ayala, Cabrera y Asociados LTDA 2007, véase tabla 1). Las demandas consuntivas por lo general vienen del sector agropecuario, las viviendas y la industria, mientras las demandas no consuntivas son del sector de producción de energía y el turismo (por ejemplo, suficiente agua para el tránsito de barcos, valor pintoresco etc) tanto como el uso del río para diluir contaminantes (por ejemplo, la mantención de un caudal mínimo para diluir contaminantes).

Dentro de la demanda total de 2007, hubo una demanda de 18,5 m³/s para agua potable, lo cual representa 124% del consumo en 2000, que fue reportado por Saldivia y Brown en su *Informe nacional sobre la gestión del agua* como 14,9 m³/s. Saldivia y Brown estimaron la demanda para 2005 a 19,5 m³/s (615,1 H m³/año) o un metro por segundo más que la demanda reportado en 2007. Las proyecciones de Ayala, Cabrera Ltda. (2007) para el año 2017 son mayores a las estimaciones de Saldivia y Brown para 2025, el primero siendo de 23,4 m³/s y el segundo entre 20,2 y 22,0 m³/s, dependiendo del aumento en demanda de agua per capita y el escenario de crecimiento de población.

Demanda de Agua en la Región Metropolitana de Chile
Actual y Proyecciones Futuras
Caudal por uso en metros cúbicos por segundo (m³/s)

Año	Agro-pecuaria	Agua Potable	Industria	Minería	Forestal	Energía	Receptor Contaminantes	Turismo	Caudal Ecológico	Total
2000		14.9	4.01 [^]			114				133
2005		19.5	5.24 [^]							
2007	82.5	18.5	10.4	0.481	0.096	129	15.4	0.002	50.4	307
2017	80.5	23.4	15.4	1.37	0.16	129	15.4	0.002	50.4	316
2025		21.1	15.4 [^]							
2032	80.5	24.8	27.6	1.99	0.16	129	15.4	0.008	50.4	330

Tabla 1: Elaboración propia usando datos de Ayala & Cabrera (2007) y Brown y Saldivia (2000)

[^] Dato base corresponde a 1995, industria y minería calculado juntos

A pesar de tener las predicciones de demanda, es difícil llegar a conclusiones acerca de futura disponibilidad, especialmente a largo plazo, por razones que estarán examinadas en detalle en este ensayo.

Interacción nieve-clima-agua

El régimen hídrico de la Región Metropolitana es nivo-glaciar, lo cual quiere decir que la mayoría de su agua viene de la fusión de nieve y el derretimiento de glaciares. El tiempo de descarga máxima de agua es durante la primavera y el verano, lo cual coincide con el periodo de mayor demanda para riego y consumo residencial. Masiokas et al (2006) informan que entre 1951 y 2001 el promedio de aporte de agua por parte de nieve y glaciares entre los meses de noviembre y febrero fue 55.8% del total anual (Masiokas et al 2006). Variaciones en la acumulación anual de nieve (medidas en equivalente de agua) pueden explicar >85% de la fluctuación en caudal anual del río Maipo (Masiokas et al 2006), lo cual sugiere que menos que 15% se debe al aporte de glaciares y lluvia en altitudes bajas. Sin embargo, durante años secos los glaciares pueden proveer hasta 67% del agua del Maipo, de acuerdo a un estudio hecho por Peña y Nazarala en 1987.

Según Masiokas et al (2006), dentro de la región central de Chile y Argentina, comprendida entre 28°S y 37°S e incluyendo la Región Metropolitana, existen menos de 30 rutas de nieves (rutas fijas con balizas para medición de nieve) con registro histórico y de ellas, solamente seis que tiene un registro de más de 30 años con menos de 10% de datos faltantes. Dentro de la Cuenca del Maipo sólo existe una ruta de nieve que cumple con esos requisitos, la Laguna Negra (33°40S, 70°08W, 2768m), que tiene un registro desde 1965 (Masiokas et al 2006). Esto apunta hacia la necesidad de un aumento en el monitoreo del manto nieve para obtener valores de referencia.

El promedio de acumulación para Laguna Negra entre los años 1965 y 2004 fue de 573 mm equivalente de nieve en agua (Masiokas et al 2006). Existe una alta variabilidad de precipitación anual dentro de la Región Metropolitana, con desviaciones de 6% a 257% del promedio de acumulación de nieve calculado (Masiokas et al 2006). Esta alta variabilidad dificulta la planificación, ya que se debe a una multiplicidad de factores meteorológicos que son difíciles de anticipar. Ha sido demostrado varias veces que existe una correlación significativa entre el fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) y la precipitación en Chile Central (Escobar y

Aceituno 1998, Quintana y Aceituno 2003, Masiokas et al 2006). Existe consenso que eventos El Niño son correlacionados con años de alta precipitación mientras eventos La Niña suelen producir años secos. Sin embargo, según Masiokas et al (2006) el fenómeno de ENSO no es capaz de explicar más de 44% de la variabilidad interanual de nieve, con el otro 56% atribuible a una variedad de interacciones complejas que aun no han sido estudiados en detalle. El conjunto de las mediciones de las seis rutas de nieve con registros de 30 años relativamente completos indica una leve tendencia positiva en acumulación, pero no significativa estadísticamente, de 3.95% por década ($p=0.543$) durante el periodo de 1951-2001, lo cual reafirma la alta variabilidad anual pero no indica una tendencia generalizada dentro de Chile Central (Masiokas et al 2006). Aunque la alta variabilidad de acumulación de nieve tiende a causar variabilidad en el caudal de los ríos, está parcialmente compensada en la Cuenca del Maipo por escorrentía glacial, que tiende a aumentar con disminuciones en la precipitación (Hock et al 2005).

Interacción hielo-clima-agua

La criósfera (compuesta por todo el agua de la Tierra que se encuentra en estado sólido) representa un recurso crítico para el mundo por una variedad de razones, entre ellos el hecho de que contiene hasta 75% de las reservas de agua dulce (Bates et al. 2008). La mayoría se encuentra almacenado en las dos grandes capas de hielo en el mundo: Antártica y Groenlandia. Sin embargo, las reservas con menor extensión, los glaciares de montaña, tienen mayor impacto inmediato en los asentamientos humanos por su vecindad y aporte directo a la industria y el consumo de agua potable donde escorrentía glacial contribuye a sistemas fluviales habitados. Tal es el caso de la Cuenca del Maipo, donde glaciares pueden representar una contribución significativa, especialmente en años secos ya que pueden compensar por la alta variabilidad anual de nieve (Peña y Nazarala 1987).

Los dos tipos principales de glaciares de montaña en la Cuenca del Maipo son glaciares descubiertos y glaciares rocosos. Los glaciares descubiertos forman a través de la acumulación y compresión de nieve, transformándola a neviza y luego a hielo mientras está sometida a presión. Ésta transformación puede tardar entre unos años y unas décadas en glaciares de montaña, dependiendo de factores climáticos y geométricos tales como la precipitación, la temperatura y el aspecto. La transición entre neviza y hielo puede ser notablemente acelerado por la ocurrencia fusión y recongelación.

A diferencia de los glaciares descubiertos, los glaciares rocosos no son compuestos de hielo puro sino son grandes acumulaciones de escombros unidas por hielo, siendo compuestos por un 40-60% de roca y un 60-40% de hielo. Los glaciares rocosos se desplazan hacia abajo por la flexibilidad del hielo, aunque su velocidad es menor a la de los glaciares descubiertos. Para ambos tipos de glaciares el proceso de acumulación tiende a realizarse durante el periodo invernal mientras la fusión de nieve y/o hielo ocurre durante el periodo estival, con mayor impacto en las altitudes bajas de los glaciares. A pesar de los ciclos anuales de fusión y acumulación, la formación inicial de un glaciar requiere siglos sino milenios de mayor acumulación que fusión, lo cual sólo ocurre durante periodos cuando prevalecen temperaturas bajas. Por tal razón, los glaciares representan una *reserva* de agua, y una vez agotados, son irremplazables en escalas de tiempo humanas.

Científicos denominan un año cuando hay menos acumulación de nieve que fusión un año de un balance de masa negativo (para un glaciar específico) porque se

perdió más de lo que se acumuló. Un año de equilibrio es un año cuando la misma cantidad de nieve se acumula que se derrite y no hay cambio neto en la masa del glaciar. Cuando nieva más de lo que se pierde, hay un balance de masa positivo. Por lo tanto, cada año se puede decir que un glaciar tiene un balance de masa negativo, positivo, o equilibrio. Varios años en un estado de balance negativo culminan en lo que se llama el retroceso de un glaciar, cuando se desaparecen las partes del glaciar que se encuentran a altitudes bajas. Factores que pueden provocar el retroceso de los glaciares en el curso de varios años son temperaturas más altas y disminuciones en precipitaciones. Un periodo de balance positivo resulta en el llamado avance del glaciar, cuando el glaciar está forzado hacia abajo por el peso del hielo y la nieve más rápido que se está derritiendo a altitudes bajas. Un glaciar en equilibrio no retrocede ni avanza.

Glaciares representan un sistema complejo de interacciones entre una variedad de factores y por lo tanto el aporte hídrico de un glaciar a un sistema fluvial varía respecto a una variedad de escalas de tiempo, dependiendo de las condiciones climáticas, los mecanismos de transporte físico y la masa del glaciar en sí (Hock et al 2005). Estas escalas de tiempo pueden involucrar variabilidad diurna, variabilidad temporal, variabilidad anual, y variabilidad multi-anual. La variabilidad diurna es importante porque la escorrentía de un glaciar puede triplicar durante un solo día de altas temperaturas sin aporte de precipitación. La variabilidad temporal refiere a la diferencia entre escorrentía invernal, que tiende a ser insignificante, y escorrentía de verano, que puede ser voluminosa. Con respecto a la variabilidad anual, cuencas con 40% de glaciación tienden a tener poca variabilidad anual en caudal. Cuencas con menos glaciación, como la Cuenca del Maipo, tienden a ser afectadas más por los máximos y mínimos de escorrentía nival durante el deshielo primaveral y la temporada invernal. Sin embargo, años cuando hay más precipitación y por consiguiente el manto de nieve más grande, tienden a resultar en menores contribuciones líquidas y mayor almacenamiento de nieve por parte de los glaciares. En esta manera los glaciares pueden regular la escorrentía, contribuyendo más cuando hay un manto de nieve menor y almacenando para años secos cuando un manto de nieve sustantivo.

La escorrentía glacial aumenta con la temperatura, junto con una disminución en la masa del glaciar hasta que alcanza su 'masa crítica'. Inicialmente el aporte hídrico de un glaciar con respecto a su masa es una relación inversa pero el aporte disminuye dramáticamente una vez alcanzado la masa crítica (Corripio 2007, Casassa et al. 2009). En otras palabras, la primera respuesta por parte de un glaciar a un aumento de temperatura es el aumento su descarga líquida, correspondiente a más deshielo, seguido por una disminución cuando el glaciar se reduce tanto en tamaño que ya no puede alimentar al sistema fluvial con suficiente escorrentía.

Glaciares del Maipo

Existe un registro fluviométrico en la Cuenca del Maipo desde los mediados del siglo 20 pero datos acerca de glaciares son tan escasos como los datos acerca del manto de nieve. Cedomir Marangunic realizó el único catastro detallado de la Cuenca del Maipo en 1979 para la Dirección General de Agua (DGA) con base en fotografías aéreas de 1955-1956. Anteriormente Louis Lliboutry (1956) hizo un catastro inicial basado en fotografías aéreas de 1944-1945. La DGA actualmente se está realizando un nuevo catastro con los resultados para los glaciares descubiertos anticipados antes del fin de 2009, pero los resultados probablemente no estarán comparables con los

resultados de estudios anteriores por diferencias en la resolución de las imágenes (Gonzalo Barcaza Sepúlveda, *comunicación personal*). Otro catastro fue realizado por Alexander Brenning de la Universidad de Waterloo en 2003/2005 con el fin de estimar el número de glaciares rocosos en la cuenca. Brenning (2005) estima que el número de glaciares rocosos podría superar a glaciares descubiertos 7:1 dentro de la Cuenca, en comparación a la estimación de 1:1 por Marangunic. La estimación del área total con glaciares de Brenning también representa el doble de la estimación de Marangunic, aunque emplea una técnica estadística y no un catastro directo como Marangunic.

El catastro de Marangunic propone que hay 647 glaciares que componen la Cuenca del Maipo, cubriendo un área de 421,9 km² (Marangunic 1979, Valdivia 1984, Rivera 2000). Según ésta cifra glaciares cubren 2,8% del área total de la Cuenca (empleando la cifra 15.157 km²), con 49,6% clasificados como glaciares descubiertos y 50,4% como glaciares rocosos. Predominan glaciares de tamaño mediano (1.00-9.99 km²), que representan 47,8% de los glaciares de la Cuenca. La altitud del línea de equilibrio (ELA), o el línea máximo de neviza estival, está estimado para la región a los 3792m pero varía entre los 3508m y 4081m. Marangunic estima el volumen de agua contenido en los glaciares de la Cuenca empleando una asignación de espesor medio relativo a la extensión superficial de un glaciar junto con una densidad promedio de hielo de 0,8 g/cm³ y un contenido de 50% de hielo para los glaciares de escombros. Este método da un valor de 30,65 km³ de agua en glaciares con un margen de error de ±10%.

El número de glaciares podría ser más de un orden de magnitud más alto de acuerdo a las estimaciones de Alexander Brenning (2005). Con la adición de varios miles de glaciares rocosos previamente no incorporados, la extensión de glaciares dentro de la Cuenca podría alcanzar un área de 791 km² o aproximadamente 5% del área total de la Cuenca, casi el doble del cálculo de Marangunic. Dentro de ésta área Brenning propone que los glaciares de escombros componen 312 ± 64 km², los glaciares descubiertos 412 km² y el hielo muerto (inmóvil) 67 km². Según su análisis, los glaciares descubiertos tienen mayor presencia a alturas encima de los 4250m, mientras los glaciares rocosos son más frecuentes entre los 3500-4250m (Brenning 2008). No hay glaciares bajo los 3000m en la Cuenca. Brenning concuerda con Marangunic que el línea de equilibrio se centra a los 3800m con variación entre 3600-4000m (Brenning, 2003). En una publicación de 2003 Brenning propone que empleando la misma técnica que Marangunic (1979) y Valdivia (1984), de correlacionar área y espesor junto con una densidad de 0,8 g/cm³, los glaciares descubiertos dentro de la Cuenca representan un volumen de agua de aproximadamente 28 km³. El volumen de los glaciares rocosos es calculado como 2,7 km³ basado en varias suposiciones acerca de los glaciares rocosos, que al ser un fenómeno recién estudiado no tienen características bien medidas. En el paper de 2005 Brenning no da una estimación del volumen de agua almacenado en los glaciares descubiertos, pero hace un recálculo (usando el mismo método estadístico) de los glaciares rocosos para incluir nuevos descubrimientos que rinde un valor de hasta 3,5 km³ contenido de agua en los glaciares rocosos de la Cuenca.

El único glaciar dentro de la Cuenca con un registro histórico es el glaciar Echaurren Norte, del cual se ha tomado mediciones de balance de masa sistemáticamente desde 1975 (Escobar et al. 1995, DGA comunicación personal). El Echaurren Norte fue elegido por su facilidad de acceso, no por su valor figurativo dentro de la Cuenca entera. Varios factores limitan la aplicación de los datos del Echaurren a la modelación de la dinámica glacial dentro de la Cuenca del Maipo. El

Echaurren Norte tiene una superficie muy reducida ($0,4 \text{ km}^2$), especialmente en comparación a los otros glaciares de la Cuenca, de los cuales 75% son de tamaño mayor (Marangunic 1979). También, el Echaurren está ubicado a una altitud muy baja y con poco cambio de elevación (3650-3880m), mientras la mayoría de los glaciares descubiertos se encuentran arriba de 4000m (Brenning 2005 Marangunic 1979). Adicionalmente, por el hecho de que el Echaurren Norte tiene una exposición únicamente sur no es posible hacer un análisis del impacto de aspecto en acumulación y ablación. Por lo tanto la extrapolación de los datos del Echaurren a la Cuenca entera podría introducir errores significativos a la estimación de un balance de masa representativo. Los datos de balance de masa para el Echaurren Norte parecen reflejar más la cantidad de precipitación invernal y en un grado menor la temperatura de la época de verano que los cambios climáticos de escala mayor dentro de la Cuenca.

Sin embargo, tomando en cuenta esos factores, las mediciones del Echaurren Norte que demuestran una tendencia negativa en la masa del glaciar. La DGA calcula que el Echaurren Norte tiene un balance cumulativo entre 1974 y 2009 de -747 centímetros equivalentes en agua (DGA, comunicación personal), empleando la ecuación estándar de acumulación (cm equivalentes a agua) menos ablación (cm equivalentes a agua) (Kaser, Fountain y Jansson 2003). La acumulación anual promedio durante el mismo periodo es 271 cm y la ablación anual promedio es -293 cm, el balance de masa promedio siendo de -22 cm por año. A pesar de una alta variabilidad anual y un balance casi de equilibrio entre 1975 y 1993 y entre 1998-2009, existe una clara tendencia negativa en el balance del glaciar entre 1993-1998 (DGA comunicación personal). Esto está de acuerdo con otros estudios de glaciares en Chile Central, tales como el estudio de la Cuenca del Aconcagua, justo al norte de la Cuenca del Maipo, por Bown et al. en 2008 que concluye que ha habido una pérdida neta de 0.6 km^2 al año en los últimos 30 años. Esto sugiere que los glaciares de la Cuenca del Maipo tal vez no son una excepción. Una comparación somera de los datos de nieve de Masiokas y el balance del Echaurren sugiere que existe una correlación entre años de baja precipitación y pérdida de masa aumentada, pero cualquiera conclusión requiere un análisis más detallado.

Los glaciares rocosos de la Cuenca han recibido más atención a partir del trabajo de Brenning en 2005, pero la amplitud de su contribución de escorrentía sigue siendo poco conocido. Brenning apunta la importancia de los glaciares rocosos observando su alta prevaencia y su concentración bajo el actual línea de equilibrio. Los glaciares rocosos de la Cuenca del Maipo tienden a tener una menor extensión, con una variación entre 0.01 y 2.0 km^2 con una mediana de 0.04 km^2 . Glaciares descubiertos son más frecuentes sobre los 4250m mientras glaciares rocosos tienen su mayor presencia a altitudes bajas, entre los 3500m y 4250m, lo cual quiere decir que puede ser que aporten más agua durante el verano, pero también pueden ser más susceptibles a cambios de clima, especialmente tendencias de calentamiento (Brenning 2005). Brenning menciona que otro elemento importante de los glaciares rocosos es que su aporte hídrico es más uniforme en comparación a los glaciares descubiertos porque su fusión es más lento y su flujo es de carácter principalmente subterráneo (Brenning 2003). Si las conclusiones de Brenning pueden ser corroboradas, los glaciares rocosos juegan un rol mucho más importante en el sistema hídrico de lo que anteriormente se pensaba.

A pesar de la incertidumbre acerca del número de glaciares y su extensión, tanto bajo el inventario de Marangunic como de Brenning los glaciares representan una fuente importante de agua y los autores concuerdan acerca del volumen total de

agua contenido en los glaciares de la Cuenca. Marangunic estima los recursos hídricos de los glaciares a 30,64 km³ de agua mientras Brenning los estima a 31,5 km³ de agua (la suma de la aproximación de glaciares descubiertos de 2003 y la de glaciares rocosos de 2005). Para comparación, el consumo de agua potable en Gran Santiago en el año 2007 fue de aproximadamente 0,58 km³ (Ayala y Cabrera 2007). A los fines de verano en años secos los glaciares del Maipo tienen un aporte significativo, con hasta 67% del caudal mensual proviniendo de ellos en el verano más seco en récord, 1968/1969 (Peña y Nazarala 1987). De acuerdo a los mismos autores, aun en años no tan extremos su aporte es importante, aunque menos, con aportes de entre 4 y 34% del caudal mensual entre los meses de diciembre y marzo en los años 1981-1986 (Peña y Nazarala 1987). Estudios más recientes del aporte glacial no existen, por lo cual no se sabe si se ha aumentado en los últimos años.

Aunque en Chile no existe una tendencia clara de disminución o aumento en el caudal de los ríos a lo largo del país, el río Maipo, medido en la estación fluviométrica Maipo en el Manzano, ha experimentado un aumento de caudal de 0.93 m³/s/a, significativo al nivel de 0.05 entre 1954 y 2003 (Masiokas et al 2006). Ya que no se ha reportado aumentos ni disminuciones significativos de precipitación en la Cuenca del Maipo (Quintano y Aceituno 2006), es posible que las crecidas de caudal son debidas a un deshielo más pronunciado por parte de los glaciares, ya que ha habido una tendencia de calentamiento de +0.28°C por década en la región (Falvey 2009). Sin embargo, es difícil expandir estas conclusiones a toda la Cuenca, ya que la estación fluviométrica Mapocho en los Almendros no experimentó un cambio significativo durante el mismo periodo de 1950-2007 (Casassa, López et al), aunque queda a solamente 25 kilómetros de la estación Maipo en el Manzano (véase mapa 1).

Se ha afirmado una tendencia generalizada de disminución de los glaciares en la zona central de Chile (Rivera 2000, Casassa et al 2006) y la subida de los líneas de equilibrio (Carrasco 2005) en las últimas décadas, lo cual sugiere que los glaciares están perdiendo masa y a una velocidad acelerada. Sin embargo, no se puede hacer una conexión directa entre la pérdida de masa de un glaciar y su aporte hídrico ya que la pérdida de masa ocurre a través de la evaporación y la sublimación tanto como el flujo. Para poder medir con precisión la contribución de glaciares a aumentos de caudal sería necesario instalar estaciones fluviométricas que medirían la escorrentía de algunos esteros o ríos glaciares prominentes.

3. El Clima

Predicciones de cambio climático

El Panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático (el IPCC por sus signos en inglés) declaró en 2007 que 1) el calentamiento del sistema climático es *inequívoco* y 2) la mayor parte del aumento observado en el promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe *muy probablemente* al aumento observado de las concentraciones de gases de efecto invernadero antropogénico (IPCC 2007). El calentamiento global trae una variedad de consecuencias no solamente en temperatura sino también en precipitación, nivel del mar, propagación de enfermedades, biodiversidad y reservas de agua dulce, para nombrar unas pocas.

En las décadas recientes el mundo entero ha visto un aumento promedio de temperatura de 0,74° C (IPCC 2007). Este aumento ha sido mayor en algunas regiones y menor en otras, con el Ártico, Asia central y la península Antártica siendo las más afectadas. Chile ha visto aumentos dispares entre las distintas regiones del

país, pero en general la tendencia ha sido un calentamiento de 0.14°-0.38° C por década desde 1933, dependiendo de la región, con aumentos más pronunciados recientemente (Rosenblüth 1997). La Cordillera Andina ha experimentado aumentos de temperatura más pronunciados en comparación a la costa, con mediciones en Lagunitas (30°04'S, 70°15'W, 2600m) y El Yeso (33°09'S, 70°05'W, 2400m) de +0.28°C por década (Falvey 2009). En la región entre 30°-34° S, no se ha visto un aumento ni una disminución significativa de precipitación en los últimos 30 años (Quintano y Aceituno 2006), sin embargo, en el pronóstico para el futuro es nefasto.

A base de modelos de clima global, el IPCC ha desarrollado escenarios globales de clima futura en base a los cambios históricos junto con proyecciones de emisión de gases invernaderos futura. Estos modelos a escala mundial han sido rebajados o 'nested' recientemente (2006) por la Universidad de Chile (UdC) para establecer predicciones a escala nacional. La Universidad adoptó a dos proyecciones de emisiones, SRES A2 y SRES B2 del IPCC para hacer su análisis. Proyección SRES A2 describe un mundo con alto crecimiento de población y desarrollo económico y tecnológico lento. Proyección SRES B2 describe un mundo con aumento de población y desarrollo económico moderado que enfatiza soluciones locales a sustentabilidad económico, social y medio ambiental. Existen otros escenarios pero estos dos representan un espectro suficientemente amplio para ser útil en examinar los efectos del cambio climático en los glaciares y las nieves de la Cuenca del Maipo.

Bajo ambos escenarios Chile experimenta temperaturas más altas antes del fin del siglo XXI, aunque existen diferencias significativas entre los resultados de uno en comparación al otro. Bajo escenario A2 se puede esperar un aumento promedio respecto a la temperatura promedio actual entre 2°-4° C dependiendo de la región, con temperaturas alcanzando hasta 5° C de desviación en algunas zonas de la Cordillera de los Andes durante el verano. Las predicciones bajo escenario B2 no son tan drásticas pero también apuntan hacia la posibilidad de aumentos de temperatura promedio hasta 4° C en algunas regiones durante el verano y cambios promedios entre 1°-3° C (UdC 2006). La Región Metropolitana está dentro del rango de cambio entre 3°-5° C bajo A2 y 1°-4° C bajo B2, dependiendo de la estación (UdC 2006).

Junto con los aumentos de temperatura se puede esperar cambios significativos en precipitación. El resumen indica que, "En la región de Chile Central hay una pérdida generalizada de precipitación bajo el escenario A2, condición que se mantiene en el escenario B2 con la excepción de la estación de otoño para latitudes inferiores a 33° S. La pérdida es del orden de 40% en las tierras bajas ganando en magnitud hacia la ladera andina durante el verano, pero reduciéndose durante el otoño y el invierno bajo el escenario B2" (UdC 2006, p 5). La predicción para un punto a 32°S y 72°W, por la costa de Valparaíso, indica precipitaciones promedias de 30 mm para los fines del siglo XXI, en comparación a un promedio de 150 mm actualmente (UdC 2006). Cabe enfatizar que, como dice el resumen, la disminución de precipitación aumenta hacia la Cordillera, donde actualmente se acumula las mayores cantidades de precipitación, y aproximadamente 80% de precipitación total de la Región Metropolitana, en forma de nieve.

Efectos de cambio climático en agua

Se espera que cambio climático global reducirá considerablemente la extensión de cobertura de nieve y hielo mundialmente en el próximo siglo. Las esperadas disminuciones en precipitación y aumentos en temperatura sugieren que la

tendencia es válida para la Región Metropolitana también. En junio 2008 el IPCC presentó un reporte técnico especial acerca de los recursos hídricos mundiales (Bates et al 2008) que apunta hacia algunos de los cambios principales esperados y su impacto en la infraestructura humana. De acuerdo a un modelo global de recursos hídricos, Water GAP, desarrollado por Alcamo (2003), la Región Metropolitana de Chile está dentro la categoría “alto nivel de estrés”, clasificado como menos de 1000 m³ de disponibilidad por persona por año o un ratio “demanda-disponibilidad” mayor a 0.8 (Bates 2008, Figura 1.1, Alcamo 2003), significando que más de 80% del agua disponible está en uso. Saldivia y Brown (2000, Tabla 15), anticipan que la disponibilidad de agua en la Región Metropolitan será 544 m³ por persona por año en 2025, asumiendo el aumento de población proyectado y ningún cambio en disponibilidad de agua. La Región Metropolitana también está clasificada como tener una “vulnerabilidad de recursos de agua dulce que muy probablemente afectará el desarrollo sustentable” (Bates 2008, Figura 3.4). Considerando que Santiago es el centro político, económico y industrial del país, estos reportes preliminares parecieran tener repercusiones amplias.

Actualmente la agricultura de la Región Metropolitana depende considerablemente en el riego, con 1320 km² regados o aproximadamente 9% de la Cuenca empleando un área total de 15,157km² (Saldivia y Brown 2000). Cortes de agua claramente afectarían a cultivos, disminuyendo su calidad y cantidad. La Región Metropolitana también depende mucho en la hidroeléctrica para generar electricidad, con seis represas instaladas en el área con una capacidad generador total de 274 MW (Saldivia and Brown 2000). Mantener o expandir la hidroeléctrica podría ser un problema, especialmente porque podría haber conflictos de demanda por las temporadas de alto uso de cada sector entre el consumo de agua y la generación de electricidad debido al suministro limitado, si la población de Santiago sigue creciendo y la industria sigue expandiendo.

Con el fin de mitigar los efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua existe la necesidad de generar datos congruentes y confiables acerca de los recursos de agua tanto como poner un mayor énfasis en la gestión del recurso, reducir las emisiones responsables del calentamiento global, aumentar la eficiencia en el uso del agua y posiblemente desarrollar fuentes alternativas.

6. Política de Glaciares & Nieves

Los datos presentados en este paper indican que los glaciares y la nieve podrían proveer recursos hídricos esenciales para Chile en el siglo XXI, y como tal su gestión efectiva es un componente crítico en mitigar los potenciales impactos del cambio climático en Chile. Gestión efectiva requiere conocimiento de los variables relevantes y políticas realizadas en hechos, no solamente en papel. No obstante la escasez de información de carácter confiable acerca de los variables relevantes, interés en su estudio y protección ha aumentado en años recientes, con correspondientes cambios en su gestión por parte del Gobierno.

Variabilidad en el manto nival está gestionada actualmente a través del uso de embalses que mantienen un suministro consistente a Santiago, aunque debería ser considerado que disminuciones significativas en acumulación de nieve y precipitación pueden generar desafíos por sus capacidades reguladoras, especialmente si hay disminuciones a través del curso de varios años. No queda claro de los estudios disponibles y entrevistas con funcionarios de agua como ésta posibilidad está siendo gestionada. Investigaciones han demostrado que materia particulada, mucho de ella

producida por la industria, potencialmente tiene un efecto grave en el albedo (la capacidad de reflejar el sol) de la nieve, provocando más deshielo y a una velocidad aumentada (Tarum 1979, Drake 1981 y otros). Este impacto potencial no parece ser considerado en el tratamiento actual de los impactos ambientales de las emisiones de la industria.

Los glaciares también han sido sujetos a intervenciones humanas, tanto directas como indirectas, que los han modificado de forma significativa y irreversible. Parecido a la nieve, aumentos en gases de efecto invernadero provocan aumentos en deshielo y la materia particulada industrial obscurece las superficies de los glaciares, reduciendo el albedo del hielo (Drake 1981, Adhikary et al 2000 y otros), ambos contribuyendo a un balance de masa negativo. Según Brenning existen glaciares rocosos dentro de la Cuenca del Maipo que se ven amenazados o alterados por la minería, entre ellos Glaciar Rinconada y Glaciar Río Blanco por la mina División Andina y Glaciar Infiernillo en mina los Bronces (Brenning 2008). Estos glaciares supuestamente han sido minados en algunas partes y usados como botaderos de vertidos en otras (Brenning 2008). Claramente al minar a un glaciar se pierde la reserva de agua que contiene mientras al usarlo como botadero potencialmente se aumenta el riesgo de derrumbes y deslizamientos espontáneos, también potenciando la contaminación del agua abastecido adentro. Más estudios son necesarios para llegar a una conclusión generalizada, pero tales estudios serían valiosos para determinar el impacto potencial de la minería en un recurso limitado.

Reconociendo que existe la necesidad de prestar mayor atención a los nieves y glaciares, por primera vez en 2008, la DGA recibió un presupuesto de 625 millón de pesos (USD\$1.2 millón) para formar una Unidad de Nieves y Glaciares dentro de la Dirección, que se encargará de estudiar estos recursos en Chile (Noticias DGA, enero 2008). Para comparación, el presupuesto entero de la DGA en 2008 fue 11.5 mil millones de pesos (USD\$21,8 millón) (Dirección de Presupuestos). La Política Nacional de Glaciares, aprobado en abril 2009, destaca la importancia de crear un inventario nacional de glaciares complejo, que hasta el momento ha sido un proyecto del sector privado (véase Rivera 2000). La Política Nacional también estipula que los glaciares sean integrados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), lo cual ofrece una cierta medida de protección contra la intervención directa. Anteriormente cuando un proyecto intervenía en los glaciares sólo necesitaba declarar su intervención, pero no fue sujeto a estudio. Bajo la nueva Política cualquier proyecto afectando a los glaciares entrará al sistema SEIA para evaluar su impacto ambiental y humano. Sin embargo, eso no garantiza que intervención en los glaciares no ocurrirá, ya que el SEIA contempla cada caso individualmente de acuerdo a las leyes vigentes, que en este caso serían leyes de agua.

Queda claro que las políticas actuales son limitadas por una falta de conocimiento anterior y aunque ha habido mejoras significativas en años recientes, es un tema que merece mucho más estudio. El Director de la DGA, Rodgrio Weisner, reconoció en una entrevista que el total de seis profesionales trabajando para la nueva Unidad de Glaciares y Nieves no es suficiente, pero también reiteró que es una mejora sobre el pasado (27 mayo 2009). “Hace pocos años no teníamos ni un glaciólogo trabajando para nosotros. Ahora tenemos seis. Ni con doce o veinticuatro tendríamos lo suficiente pero podemos desarrollar solamente a una cierta velocidad. Más y más en el futuro la DGA va a parecer la Dirección General de Glaciares y Nieves mientras siguen aumentando su importancia como recurso nacional” (Weisner, comunicación personal, 27 de mayo 2009). Con respecto a medidas concretas para enfrentar el efecto de cambio climático en los recursos hídricos Weisner expresó menos certeza.

“Las aguas de Chile están bajo el manejo de empresas privadas con planes elaborados para los próximos 15 años, más adelante, no hay proyecciones específicas. Los estudios que estamos realizando ahora nos darán una mejor idea de los recursos disponibles y la demanda que la Cuenca puede soportar. Si los resultados nos indican que la demanda va a superar la capacidad con crecimiento de la población, podría resultar necesario limitar los permisos de construcción etcétera para evitar una crisis del agua. Pero por el momento eso no es algo bajo consideración. (Weisner, comunicación personal, 27 mayo 2009).

Conclusión

Las predicciones dramáticas de la prensa Chilean han sido derrumbadas pero el punto que los recursos hídricos de la Región Metropolitana potencialmente están en peligro sigue siendo la verdad. Haciendo conclusiones de la información histórica disponible está sujeto a limitaciones, como está elaborado en el paper. Sin embargo, queda claro que si los modelos climáticos son precisos, habrá cambios importantes en el clima de la Región Metropolitana en el próximo siglo que requerirán la adaptación o la migración. Áreas de interés particular deberían ser la agricultura y la generación de electricidad, ambas capaces de ser paralizadas por disminuciones en la disponibilidad de recursos hídricos. Protección de los recursos hídricos y énfasis en aumentos de eficiencia deberían volverse prioridades nacionales, especialmente para cuencas estresadas como el Maipo. No obstante, decisiones de gestión tienen que ser basadas en datos, lo cual requiere más investigación acerca de los variables relevantes.

Investigación futura debería ser dirigida hacia la creación de un inventario exacto de los glaciares de la Cuenca y sus características, midiendo sistemáticamente su escorrentía en una variedad de estaciones fluviométricas dentro de la Cuenca, analizando el uso del agua en una variedad de escalas de tiempo y por diferentes sectores económicos, y traduciendo datos del balance de masa de los glaciares a términos hídricos relacionados a la topografía regional. Sólo al cumplir con eso podrá contribuir de forma significativa la modelación del manto nival y la escorrentía glacial bajo una variedad de escenarios de calentamiento global en la planificación de recursos hídricos en la Región Metropolitana.

De importancia igual es el aspecto de la política pública, que todavía no ha recibido mucha atención. La falta de información públicamente disponible acerca de los recursos de agua y su disponibilidad en la Región Metropolitana ha generado la circulación de mucha información errónea y una dramatización del tema en la prensa. Aunque la cobertura ha generado un poco de conciencia, el peligro de esta técnica de diseminación de información es que los agencias y expertos responsables para el tema pierden credibilidad cuando sus afirmaciones son demostrados sin fundamentación. Por lo tanto su capacidad de movilizar contra desafíos futuros está derrumbado. La diseminación de información más precisa y accesible permitiría más participación pública y más interés a largo plazo por el tema.

Bibliografía

- Acevedo, R. (2008, November 3). Glaciar que Abastece de Agua a 70% de Región Metropolitana Desaparecerá en 50 años. *La Tercera*.
http://www.latercera.cl/contenido/27_68940_9.shtml .
- Adhikary, S., et al. "Dust Influence on the Melting Process of Glacier Ice: Experimental Results from Lirung Glacier." *IAHS Publication* 264 (2000).

- Ayala, and Cabrera. (2007) Estimaciones De Demanda Actual y Proyecciones Futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana. (DGA) *S.I.T. N°123*: 1-109.
- Banco Central de Chile. (2003). *Cuentas Nacionales: Producto Interno Bruto por clase de actividad económica*. <http://www.bcentral.cl/estadisticas-economicas/index.htm>.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds. (2008). *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Bown, F., A. Rivera, and C. Acuna. "Recent Glacier Variations at the Aconcagua Basin, Central Chilean Andes." *Annals of Glaciology* 48.1 (2008): 43-8.
- Brenning, A. "Geomorphological, Hydrological and Climatic Significance of Rock Glaciers in the Andes of Central Chile (33-35°S)." *Permafrost and Periglacial Processes* 16.3 (2005): 231-40.
- Brenning, A. "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 (2003): 7-22.
- Brenning, A. (December 1 2008)"Glaciares Rocosos: La Base Científica Para Su Protección." Invited public lecture at the Universidad Académica de Humanismo Cristiano, Santiago Chile, 1-46.
- Brown Fernández, E., and J. Saldivia Medina. (2000)"Informe Nacional Sobre La Gestión del Agua en Chile." http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399_NOR_01_04_15.pdf (CONAMA), 1-117.
- Cade-Idepe. (2004) "Cuenca Del Río Maipo: Diagnostico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos De Agua según Ojetivos De Calidad." (DGA), 1-201.
- Carrasco, J., R. Osorio, and G. Casassa. "Secular Trend of the Equilibrium Line Altitude in the Western Side of the Southern Andes Derived from Radiosonde and Surface Observations." (2007): 1-21.
- Casassa, G., A. Rivera, and M. Schwikowski. "Glacier Mass-Balance Data for Southern South America (30°S-56°S)." In Knight, P.G., (Ed.) *Glacier Science and Environmental Change*, Blackwell, Oxford, UK, (2006): 239-241.
- Casassa, G., P. López et al. "Detection of Changes in Glacial Run-Off in Alpine Basins: Examples from North America, the Alps, Central Asia and the Andes." *Hydrological Processes* 23.1 (2009): 31-41.
- Corripio, J, R. Purves and A. Rivera (2007): " Modeling climate-change impacts on mountain glaciers and water resources in the Central Dry Andes". In: Orlove, B., Wiegandt, E. & Luckman, B. (Eds.). *Darkening Peaks: Glacier Retreat, Science and Society*, University of California Press, USA, p. 126-135.
- CONAMA. "Política Nacional De Glaciares." www.sinia.cl/1292/articles-45467_PoliticaGlaciales.pdf (2008): 1-8.
- Corporación para el Desarrollo de Santiago. (n.d.). *Construcción de viviendas, Santiago, por año*. www.cordeslan.cl.
- DGA. (mayo 2002) "Informe De Zonificación Hidrogeológica Para Las Regiones Metropolitana y V." *S.D.T. n°133*, 1-149.
- DGA. (mayo 2003) "Evaluación De Los Recursos Hídricos Superficiales En La Cuenca Del Río Maipo." *S.D.T n°145*, 1-117.
- Dirección General de Aguas. (2008, January 28). MOP crea Unidad de Glaciares para estudiar comportamiento de estratégicas masas de hielo. *Noticias DGA*. <http://www.dga.cl>.

- Dirección Meteorológica de Chile. (n.d.). *Clima Región Metropolitana*.
http://www.meteochile.cl/climas/climas_region_metropolitana.html
- Drake, J. "The Effects of Surface Dust on Snowmelt Rates." *Artic and Alpine Research* 13 (2), (1981): 219-223
- Escobar, F., and P. Aceituno. "Influencia Del fenómeno ENSO Sobre La precipitación Nival En El Sector Andino de Chile Central Durante el Invierno." *Bull.Inst.fr. études andines* 27.3 (1998): 753-9.
- Escobar, F., G. Casassa, and V. Pozo. "Variaciones de un glaciar de montaña en los Andes de Chile Central en las últimas dos décadas." *Bull.Inst.fr.études andines* 24.3 (1995): 683-95.
- Falvey, M., and R. Garreaud. "Regional Cooling in a Warming World: Recent Temperature Trends in the Southeast Pacific and Along the West Coast of Subtropical South America (1979-2006)." *Journal of Geophysical Research* 114 (2009): 1-16.
- Hock, R. et al. "Glacier Melt: A Review of Processes and their Modelling." *Progress in Physical Geography* 29.3 (2005): 362-91.
- IPCC. 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Instituto Nacional de Estadística. (2002). *Censo 2002*. <http://www.ine.cl>.
- Kaser, G., A. Fountain, P. Jansson. "A Manual for Monitoring the Mass Balance of Mountain Glaciers with Particular Attention to Low Latitude Characteristics." *Technical Documents in Hydrology*. 59 (2003): 1-137.
- Marangunic C. 1979. Inventario de glaciares en la hoya del río Maipo, Dirección General de Aguas, MOP, 65.
- Masiokas, M., et al. "Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region." *Journal of Climate* 19.24 (2006): 6334-52.
- Ministerio de Obras Públicas: Antecedentes Presupuestarios 2008." Dirección de Presupuestos. 2008. Ministerio de Hacienda.
<http://www.dipres.gob.cl/574/multipropertyvalues-14566-15192.html>
- Mitchell, B. (1 de marzo 2009)El Seco Futuro de Santiago.
http://www.lanacion.cl/prontus_noticias_v2/site/artic/20090228/pags/20090228214452.html *La Nación*.
- ODEPA. (2005)"Panorama De La Agricultura Chilena." 2ª Edicion, 1-85.
- Peña, H. and Nazarala, B. (August 1987)"Snowmelt-Runoff Simulation Model of a Central Chile Andean Basin with Relevant Orographic Effects." Large Scale Effects of Seasonal Snow Cover: Proceedings of the Vancouver Symposium. IAHS Publ. no. 166.
- Quintana, J., P. Aceituno. (April 24-28, 2006) "Trends and Interdecadal Variability of Rainfall in Chile." Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguacu, Brazil, INPE, p. 371-372.
- Rivera, A., et al. "Variaciones Recientes De Glaciares En Chile." *Investigaciones Geográficas* 34 (2000): 29-60.
- Rosenblüth, B., H. Fuenzalida, and P. Aceituno. "Recent Temperature Variations in Southern South America." *International Journal of Climatology* 17.1 (1997): 67-85.

Tarum, R., J. Meiman. "Water Yield Increases Through Dusting of a Permanent Icefield." *Journal of the American Water Resources Association* 15 (5) (1979): 1331-1340.

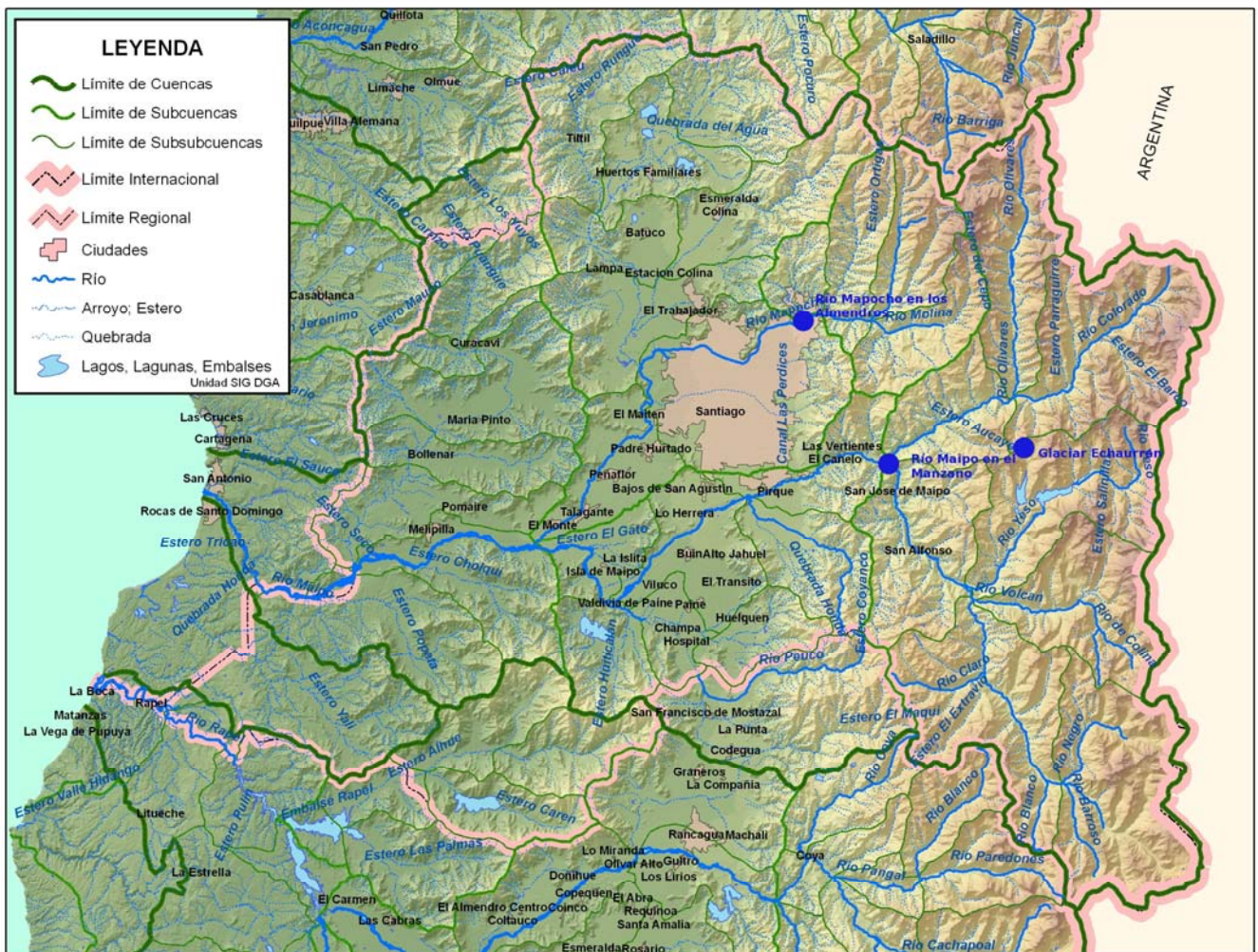
Universidad de Chile/CONAMA. (2007) "Estudio De La Variabilidad Climática En Chile Para El Siglo XXI." http://www.conama.cl/portal/1301/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf, 1-71.

Valdivia, P. "Inventario De Glaciares, Andes De Chile Central (32°-35°S) Hoyas De Los Ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal y Tinguiririca." *Jornadas de Hidrología de Nieves y Hielos en América del Sur*, Santiago, Chile, (3 al 8 de diciembre 1984): 104-27.

Zúñiga, V. (2009, May 25). MOP Busca proteger 3.500 glaciares chilenos, la tercera reserva de agua dulce del mundo. *El Mercurio*, p. C1.

Anexo

Mapa 1:



Mapa cortesía de la Dirección General de Aguas