

# ENFOQUE ECOLÓGICO-SOCIAL DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA, EXTRACCIONES DE AGUA Y DEMANDAS TERRITORIALES EN LAS CUENCAS DEL DESIERTO DE ATACAMA<sup>1</sup>

Hugo Romero

Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago de Chile

Manuel Méndez

Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago de Chile

Manuel Méndez

Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago de Chile

Pamela Smith

Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago de Chile

Magaly Mendonça

Departamento de Geociencias, Centro de Filosofía y Humanidades, Universidad Federal de Santa Catarina, Postdoctorado CAPES, Brasil

Resumen: Las cuencas hidrográficas en Chile enfrentan grandes desafíos y registran importantes niveles de riesgos en un país caracterizado por paisajes geoecológicos y socioecológicos muy variados, presencia generalizada de altas montañas, elevados niveles de incertidumbre climática e hídrica, grandes inversiones de capitales nacionales y extranjeros, especialmente en minería, y un profundo y creciente proceso de privatización y *comodificación* de sus recursos naturales, incluida el agua. Estos procesos alcanzan una relevancia aún mayor, tratándose del Desierto de Atacama y las cuencas altiplánicas que lo bordean por el Este, debido a que corresponde a uno de los paisajes más áridos del mundo, donde la marcada escasez de agua es interrumpida por años de abundantes precipitaciones, que provocan aluviones e inundaciones activando sus sistemas de cuencas con flujos superficiales y subterráneos.

En este trabajo se presentan en primer lugar, las características climáticas de macro y meso escala que determinan la escasez y alta variabilidad interanual de las precipitaciones en esta parte de Chile. En una segunda sección se presentan cuencas seleccionadas, que localizan por un lado, grandes inversiones mineras, elevadas concentraciones de asentamientos indígenas, rurales y urbanos, y debido a ello, conflictos ecológico-sociales agudos causados por la propiedad y acceso a los recursos hídricos.

En una tercera sección, se analizan las estrategias de adaptación ante la variabilidad climática e irregularidad de la disposición de agua, que han seguido las grandes compañías mineras y las comunidades indígenas, en un contexto de privatización de los derechos de acceso al agua, concluyéndose con algunos pronósticos que exigen evaluaciones ambientales estratégicas .

---

<sup>1</sup>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FINANCIADO POR INICIATIVA MILENIO NS 100022 DEL MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO, FONDECYT N° 1120204 y VID-UChile.

## 1. Introducción

El Desierto de Atacama presenta una extraordinaria paradoja geográfica: se trata por un lado del desierto más árido del mundo y por ello, sus estaciones meteorológicas ubicadas en las tierras bajas y costeras prácticamente no registran precipitaciones, lo que explica su aguda escasez de recursos hídricos. Por otro lado, localiza una de las más importantes reservas minerales del mundo, especialmente en lo que se refiere a cobre, oro, plata, molibdeno y litio, cuyo procesamiento industrial así como servicios relacionados espacialmente, requieren grandes cantidades de agua. El agua proviene de los altiplanos y laderas de la alta cordillera de los Andes, cuyas precipitaciones están controladas a macroescala principalmente por el comportamiento del Monzón Sudamericano y la Oscilación del Sur (Fenómenos El Niño y La Niña). A mesoescala, las precipitaciones y las temperaturas dependen grandemente de la conformación, altura, exposición e interconexión superficial o subterránea de los flujos que escurren desde cuencas a-, endo- o exorreicas.

La variabilidad interanual se manifiesta en la sucesión de series de años secos, que producen sequías y acentuadas competencias por el acceso al agua, interrumpidos por años húmedos y fríos, dónde la abundancia de precipitaciones de verano, desencadena desastres naturales como inundaciones y aluviones que arrasan con los asentamientos poblados y las tierras de cultivo y que pueden ser acompañadas en el invierno por nevazones y devastadoras tormentas y ondas de frío.

La topoclimatología de cuencas explica la variabilidad espacial de meso escala y exigiría una gestión integrada de los recursos hídricos, que deberían ser concebidos como propiedad pública y administrados por el Estado, respetando las necesidades de los paisajes ecológico-sociales. Sin embargo, en Chile el agua es un recurso comodificado y privatizado desde 1981, que se adquiere libremente en el mercado y cuyos precios varían en función de su oferta y demanda en el tiempo y el espacio, lo que impide la existencia de leyes e instituciones que se preocupen de regular y asignar los usos del agua. Dada la aridez del Desierto de Atacama, la competencia por el agua entre las comunidades indígenas y rurales que practican agricultura y ganadería en los altiplanos y valles andinos, las empresas mineras, la conservación de la naturaleza y los usos urbanos, constituyen complejos conflictos que no están siendo resueltos adecuadamente y que requieren mecanismos de evaluación ambiental estratégica para confrontar las enormes inversiones de capital nacional y extranjero asociado a innumerables proyectos mineros.

Adicionalmente, la protección de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, constituidas por lagos, lagunas, salares y humedales ubicados en las altiplanicies andinas es un componente fundamental de la gestión integrada de cuencas que no está sucediendo en Chile, acentuando conflictos y crisis que se han manifestado a través de la inutilidad de los modelos hidrogeológicos no validados adecuadamente, profundos impactos ecológicos negativos, pérdida de los derechos de agua por parte de las comunidades locales, falta de información actualizada sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos, agotamiento de los acuíferos subterráneos, proliferación de pozos ilegales y escasa capacidad de los organismos públicos encargados de su administración.

Los climas se relacionan con factores de escala diversa pero en forma integrada e interactiva, siendo posible sistematizarlos según se descienda o ascienda escalaramente (top-down o bottom-up). En el primer caso, es necesario considerar el comportamiento espacio-temporal de los patrones de circulación atmosférica y sus

interacciones con la circulación de los océanos. La circulación atmosférica que controla el clima del Desierto de Atacama comprende la Convergencia Intertropical y el Monzón Sudamericano, el fenómeno ENSO y sus fases cálidas (El Niño) y fría (La Niña).

La combinación de la actuación de estos factores macroescalares genera eventos océano-atmosféricos de gran alcance espacial y transformaciones climáticas con repercusiones ambientales, naturales y socioeconómicas, tal como ha ocurrido en los grandes fenómenos El Niño, que aparecen como responsables de períodos de sequías en el altiplano andino que alimenta las fuentes superficiales y subterráneas de agua en la zona. Por el contrario, los años Niñas de gran magnitud causan veranos e inviernos fríos y lluviosos, en que se registran abundantes precipitaciones de nieve y agua sobre las montañas andinas, tal como se ha observado los años 2011 y 2012.

La impredecibilidad de estos fenómenos de macroescala provoca una elevada incertidumbre en lo que respecta a la disponibilidad de agua proveniente de las altiplanicies y que se almacenan en las tierras bajas que constituyen el corazón del desierto, en las cuáles nunca llueve y por ello se constituyen en los paisajes más áridos del planeta. No se conocen con precisión las relaciones específicas que asocian espacial y temporalmente cada uno de los factores y sus efectos sobre los climas, paisajes y climas regionales, lo que obliga a analizar cuidadosamente las situaciones ecológico-sociales y mantener medidas precautorias que eviten la ocurrencia de desastres naturales, como sucede cada vez que las precipitaciones abundantes inundan campos y asentamientos humanos, las nevazones y crecidas de ríos y quebradas interrumpen los caminos y las comunicaciones, o bien cuando períodos persistentes de sequía producen el colapso de los ecosistemas y sociedades locales, en una cadena acumulativa de degradaciones medioambientales que hace que cada situación futura sea peor que la anterior.

A mesoescala, las relaciones espaciales más importantes se distribuyen en función de la forma, extensión, altura, coherencia y naturaleza de las cuencas fluviales. El Altiplano Andino y el Desierto de Atacama están organizados en cuencas endorreicas, exorreicas y aún arreas que se localizan en las tierras altas y bajas, conformando en los primeros casos complejos sistemas espaciales por los cuáles lo que sucede en las tierras de menor altura depende estrictamente del escurrimiento y almacenaje de las precipitaciones sobre las altiplanicies, laderas y humedales de los niveles más elevados. No es posible explicar los flujos de agua actuales y paleogeográficos sino es en relación a estos flujos de agua superficiales y subterráneos, reconociendo que entre ellos existen numerosas cuestiones desconocidas y que es normal que afloren en las tierras bajas después de permanecer decenas de kilómetros como sumergidos. Ello determina que los mayores potenciales de los recursos hídricos se ubiquen en los acuíferos subterráneos y que por ello, se concentren en sus áreas de surgencia los mayores esfuerzos de extracción.

La topoclimatología de cuencas, así como la hidrología e hidrogeología asociados son muy parcialmente conocidos en estas áreas, debido a la extraordinaria variabilidad temporal y espacial, así como a la falta de datos e informaciones que sean realmente representativos.

## 2. Climatología del Desierto de Atacama y del Altiplano Andino

La alta Cordillera de los Andes representa una frontera para la circulación atmosférica en las latitudes subtropicales de América del Sur, separando casi completamente el sector Este o continental, dependiente de la Amazonia, del Oeste u oceánico, asociado al Océano Pacífico. El tramo de la Cordillera de los Andes que se extiende entre las latitudes 18° y 27°S – abarcando desde el límite norte de Chile con Perú hasta el límite sur del Desierto de Atacama - permite el desarrollo de una zona de condiciones climáticas específicas principalmente controladas por la altitud (3700 m.s.n.m., en promedio) y latitud (en las zonas inter y subtropical). Su localización marginal en el borde occidental del altiplano andino propiamente tal (ACEITUNO, 1996), le otorga importantes niveles de particularidad climática y lo distingue completamente de las demás regiones de Chile. Los sistemas atmosféricos que se desplazan desde la cuenca del Amazonas influyen los valores de la humedad atmosférica y de las precipitaciones, que se registran en verano. En el invierno, cuando predominan los vientos del Oeste, la humedad relativa es menor (ACEITUNO, 1996) y si bien, en general en las regiones Nor-Orientales

del altiplano andino precipita en otras fechas, para el sector chileno, las lluvias y nevazones se registran casi exclusivamente en el verano.

Mesoclimatología: Efectos de la latitud, altura y continentalidad sobre el comportamiento y variabilidad estacional de las temperaturas y precipitaciones.

#### Comportamiento de las temperaturas

Se consideró el estudio de dos transectos latitudinales que se extienden a través de las regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá, desde la costa hasta las cuencas altiplánicas de Caquena y Cancosa, respectivamente, ambas localizadas sobre los 4000 msnm. Aun considerando la existencia de series de datos meteorológicos incompletos es posible reconocer que las estaciones localizadas sobre los 3000 msnm no superan los 10°C, comparado con las estaciones de Arica e Iquique, ambas costeras, que poseen al menos 17°C como promedio anual. Se observa en la figura 1 que los años más fríos y más cálidos son en general similares en todas las estaciones de la región. Los años más calurosos coinciden con episodios significativos del fenómeno El Niño (1983, 1992, 1997, 2006 y 2009), mientras que los más fríos lo hacen con eventos La Niña (1996, 1999, 2007 y 2010).

La influencia de la temperatura de superficie del mar (TSM) y de la presión atmosférica del Pacífico es mucho más evidente en las estaciones costeras. En las estaciones de altura, como Caquena, localizada sobre los 4400 msnm, se registra un promedio de temperatura anual cercano a 0°C (figura 1). Los valores moderados de temperatura que se registran en las zonas costeras del Desierto de Atacama (un hecho climático azonal tratándose de un desierto esencialmente intertropical), se deben al alcance de la Corriente de Humboldt, por la cual masas de agua fría subantárticas son trasladadas a lo largo del litoral sudamericano, hasta Colombia. En las estaciones costeras, con series más largas y completas, se observa una disminución de las temperaturas medias a partir de 1999.

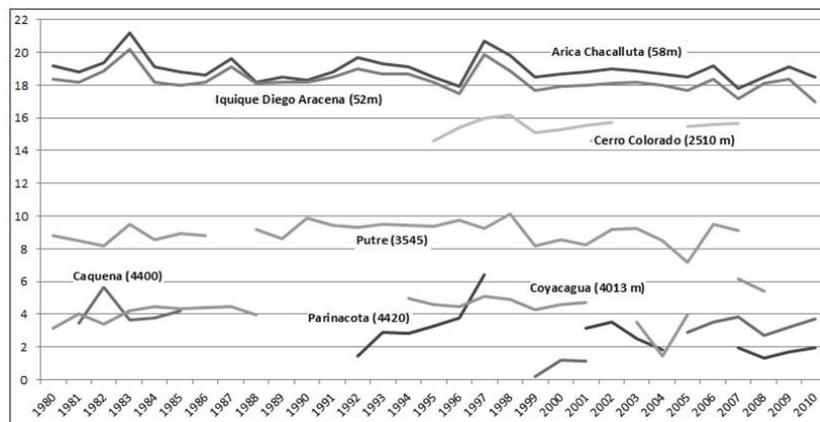


Figura 1. Temperatura promedio anual de estaciones localizadas en las regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA).

#### Distribución regional de las precipitaciones

El control pluviométrico ejercido por las altas presiones asociadas al Anticiclón Semipermanente del Pacífico del Sudeste y sus inversiones térmicas de subsidencia y radiación (que se deben al predominio constante de las surgencias de aguas subantárticas de la Corriente de Humboldt) impiden completamente la formación de nubes de altura y por lo tanto de ocurrencia de precipitaciones desde la costa hasta una franja interior del continente que no supera los 200 Km ni los 2000 m de altura.

La extrema variabilidad interanual de las precipitaciones altiplánicas se manifiesta en la ocurrencia de años completamente secos, hasta otros, que en función del aumento de la altura, pueden aproximarse a 1000 mm

anuales. Los datos existentes no sólo impiden registrar tendencia alguna de variación interanual, sino que implican además una altísima incertidumbre sobre la existencia de agua superficial y por ello, un aumento creciente de la presión sobre los recursos subterráneos, muchos de los cuáles son de carácter fósil y por ello, no renovables.

Las anomalías de precipitación que ocurren simultáneamente en el Altiplano, Sur de Bolivia y centro de Argentina tienen lugar en discordancia con el lado este del continente y del océano Atlántico subtropical. El transporte de humedad es producido por la circulación regional, que aspira el aire húmedo de la capa límite atmosférica (CLA) de la planicie continental ubicada al este de la vertiente de los Andes. Lo mismo ocurre en el lado oeste, con el transporte de aire seco del desierto costero hasta el altiplano. Estas circulaciones de escala regional son desencadenadas por el calentamiento de las vertientes cordilleranas, pero el flujo de gran escala puede modular su intensidad y duración impulsando la mezcla en el tope de la CLA.

Sobre los Andes Centrales el flujo medio sobre la vertiente occidental y los vientos debajo del nivel de la CLA se tornan más fuertes o más débiles, aumentando el transporte de humedad de la planicie continental que alimenta la convección profunda. Las precipitaciones también pueden surgir de las lluvias que se registran sobre la depresión continental al este de los Andes, pero alcanzan sólo a la mitad del Altiplano y ocurren en escalas de tiempo más cortas, de 2 a 5 días (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

En el altiplano andino del Desierto de Atacama, las precipitaciones se concentran en los meses estivales (figura 2), escapándose de esta forma del comportamiento generalizado de los climas chilenos, siempre bajo el área de influencia del océano Pacífico. Chile presenta en su parte central (27-38°S) climas de tipo mediterráneo, con precipitaciones exclusivamente en los meses invernales (mayo-agosto) provocadas por los frentes polares y en la sección más austral (38-56°S), precipitaciones durante todo el año, debido a la circulación de los Oestes de latitudes templadas y subantárticas.

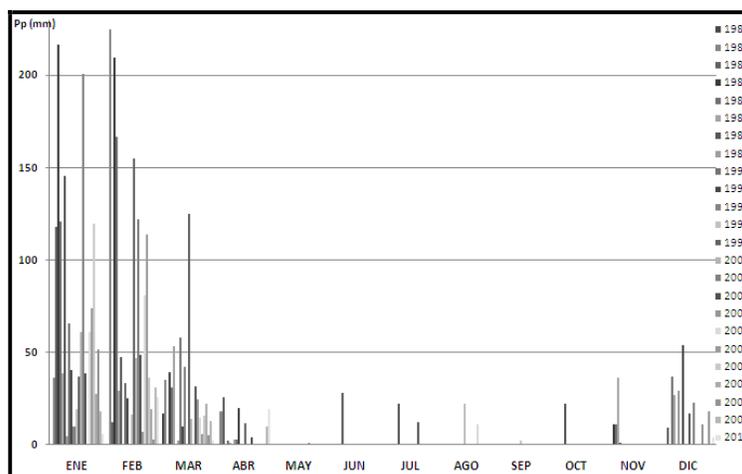


Figura 2. Totales mensuales de precipitación, estación Caquena (4400 m.s.n.m.).  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Aguas (DGA).

La concentración de las lluvias en el altiplano andino en los meses estivales (fig. 2) depende del contenido de humedad de las masas de aire originadas sobre la planicie continental ubicada hacia el este. Sin embargo, la humedad continental es igualmente alta en la estación del invierno, por lo que se deberían esperar lluvias invernales. No obstante, la disponibilidad de humedad atmosférica está controlada por cambios en la dirección del transporte del aire y no por el contenido de humedad de la región de origen (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

La Alta de Bolivia (AB), centro de altas presiones atmosféricas que se localiza en la atmósfera superior, está asociada, en los bajos niveles atmosféricos, a la Baja del Chaco, y en el verano se posiciona entre Bolivia y el

estado brasileño de Mato Grosso del Sur, después de localizarse sobre Perú y oeste da Amazonía (ALVES, 2009). Representa un sistema típico y cuasi estacionario de circulación en los altos niveles atmosféricos, que es resultante del aumento de la convección continental en la Amazonía, relacionada con el avance meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que en conjunto con la Corriente del Jet Subtropical, atraen más hacia el sur el cinturón ecuatorial de los vientos del Este.

En el corazón del verano ocurre un cambio en la dirección de los flujos de aire del oeste a uno del este a 200 hPa cerca de los 20°S, debido a circulación de monzón sobre América del Sur (GAN, RODRIGUES Y RAO, 2009). La circulación de monzón consiste en reversiones estacionales en la dirección de los vientos, que causan veranos lluviosos e inviernos secos (MORAN Y MORGAN, 1986), lo que se verifica tanto en la región Centro Oeste del Brasil como en el Altiplano andino. Mientras tanto, en el resto de América del Sur los vientos de los bajos niveles atmosféricos no revierten sus direcciones durante los cambios de estación. El desarrollo del sistema del monzón se inicia durante la primavera, debido al aumento de la convección profunda sobre el noroeste de la cuenca Amazónica, que avanza en dirección al sureste de Brasil en noviembre y causa máximos totales de precipitaciones entre los meses de diciembre y febrero sobre la mayor parte de la región tropical de América del Sur (GAN, RODRIGUES Y RAO, 2009).

En los períodos de transición desde la estación seca a la estación lluviosa y vice versa hay variaciones en la circulación atmosférica, como la inversión de los vientos zonales al inicio y término de la estación lluviosa: los vientos son del este (oeste) en los bajos (altos) niveles atmosféricos durante la estación seca, y del oeste (del este) en la estación lluviosa (GAN, KOUSKY Y ROPELEWSKY, 2004). O sea, en la estación húmeda los vientos de los altos niveles atmosféricos (del este), suministran el aire húmedo de la convección tropical profunda que ocurre en la planicie continental, posibilitando las precipitaciones en el corazón del verano a través del llamado “invierno altiplánico o invierno boliviano” (ROMERO et al, 2011). Además de eso, el flujo de humedad que en la estación seca es perpendicular a la Cordillera de los Andes al norte de los 10° S, diez días antes del inicio de la estación lluviosa, comienza a girar para el suroeste, favoreciendo el transporte de la humedad de la Amazonía para el Centro-Oeste brasileño (GAN, RODRÍGUES y RAO, 2009). La circulación del monzón sudamericano (como sucede con su homólogo asiático), está relacionada con las diferencias de calentamiento entre tierras y mares, que en los meses más calientes crean un gradiente horizontal de presión que transporta el aire húmedo oriundo del océano hacia el interior del continente, donde en contacto con la superficie recalentada, asciende, se enfría adiabáticamente y condensa su humedad, liberando calor latente que intensifica la convección y las precipitaciones. En los altos niveles atmosféricos, esta porción de aire diverge y desciende sobre el océano más frío (las aguas subantárticas del Pacífico transportadas por la Corriente de Humboldt que alcanzan la superficie por activos procesos de surgencia (ROMERO et al, 2011).

En el verano, las lluvias en el altiplano andino tienden a concentrarse en una semana, seguidas por un período de sequía de la misma duración. Las tempestades convectivas se organizan a mesoescala, abarcando los Andes Centrales y también a escala topoclimática, diferenciando el comportamiento de las mesetas, laderas y ejes de drenaje fluviales de cada una de las cuencas altiplánicas. Esta doble causa de lluvias intensas ha quedado dramáticamente demostrada en las crecidas de ríos y avalanchas de quebradas que afectaron a los valles de las regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá el día 13 de marzo de 2012, que arrasaron con parte importante de las viviendas y cultivos de lugares como Moquella, Camiña, Cuisama y Chapiquilha (ROMERO, et al., 2012)

La condición episódica de las lluvias demuestra un incremento de la humedad que permite a las corrientes ascendentes locales generar precipitaciones. Los vientos zonales tienen una fuerte relación con los húmedos del este y los secos del oeste y sus anomalías han sido asociadas con cambios en la posición e intensidad de la Alta de Bolivia. (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

Como la precipitación episódica del Altiplano andino, el monzón no es continuo durante toda la estación lluviosa, teniendo una secuencia de fases activas e inactivas, que varían en frecuencia e intensidad de un año para otro. Por ello, la estación lluviosa puede registrar precipitaciones por sobre o bajo lo normal, que es una característica de su alta variabilidad. Esta característica del monzón sudamericano identifica por lo menos uno

de los mecanismos actuantes en la producción de precipitaciones en el Altiplano. Aún más, cuando el monzón está en la fase activa ocurren días con poca o con mucha precipitación (ROMERO, et al., 2011 y 2012).

Los períodos asociados al viento zonal del este son secos en los bajos niveles atmosféricos, mientras que aquellos relacionados con los vientos zonales del oeste son lluviosos (GAN, RODRÍGUES y RAO, 2009). En los períodos en que los vientos soplan del oeste en los niveles bajos, en altura son del este y constituyen flujos zonales que llevan humedad al Altiplano. Para los referidos autores los períodos secos pueden estar asociados a la intensificación de las Corrientes de Chorro de los Bajos Niveles (al este de los Andes). La fase activa también puede estar asociada a la actuación de sistemas sinópticos, como sistemas frontales y vórtices ciclónicos en los altos niveles atmosféricos, que embudados en la Zona de Convección Tropical (ZCT) aumentan el total de las precipitaciones en la región monzónica. La ausencia de los sistemas sinópticos disminuiría el total de precipitaciones, caracterizando la fase inactiva (ROMERO et al. 2011 y 2012).

Al inicio de la temporada de lluvias, la ZCIT en el Océano Pacífico, que se encuentra aproximadamente a 10°N, actúa en la desestabilización de la atmósfera y la organización de la convección sobre el continente, específicamente sobre la región noroeste de la Amazonía. Esta convección sobre el continente comienza a extenderse desde el noroeste hacia el sureste, regresando a su posición noroeste hacia el final de la estación de lluvias, cuando está conectada a la ZCIT del Atlántico (GAN, RODRIGUES y RAO, 2009).

Los aportes de la ZCIT sobre la climatología del altiplano pueden ser reforzados por las Corrientes del Chorro de Bajos Niveles de América del Sur. En el verano, entre noviembre y febrero, los flujos de la Amazonía están más intensificados, mientras que en invierno son más débiles y la humedad transportada hacia el sur es de origen oceánico asociada al ciclo anual de la alta subtropical del Atlántico Sur (MARENGO, AMBRIZZI y SOARES, 2005).

La Corriente de El Chorro de Bajo Nivel aumenta la convergencia del flujo de humedad y las precipitaciones en la región de la baja térmica del Chaco, sobre la cual, en los altos niveles atmosféricos se observa la AB próxima a la región de precipitación máxima. La subsidencia atmosférica sobre el Pacífico también está asociada con la circulación de los monzones, creando una capa de estratos cúmulos en el lado oeste de América del Sur, que se asemeja a las características observadas en las regiones del monzón de otras partes del globo (figura 6) (GAN, RODRIGUES y RAO, 2009).

La humedad resultante de la circulación del monzón de América del Sur se asocia con la ZCIT del Atlántico y del Pacífico, así como con las Corrientes de Chorro de Bajos Niveles, integrando la circulación amazónica y altiplánica, demostrando la importancia de la primera como uno de los más relevantes controles macroclimáticos de generación de precipitación de Sudamérica (ROMERO, et al., 2011 y 2012).

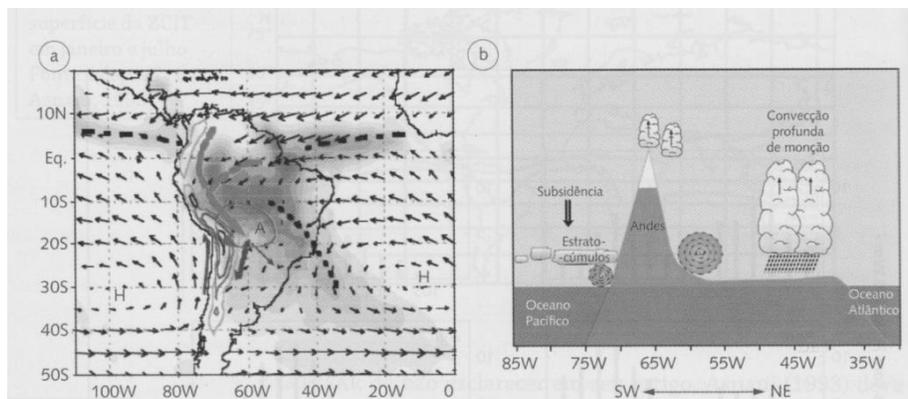


Figura 3. (a) Esquema ilustrativo del sistema de monzón en América del Sur. La parte sombreada indica la zona de precipitaciones y las líneas de trazo las zonas de convergencia. Los vectores menores indican el viento en los bajos niveles (900 hPa); el vector mayor indica la Corriente de Chorro de los Bajos Niveles; H indica los anticiclones subtropicales y A la

Alta da Bolivia. (b) Esquema de la sección vertical del monzón de América del Sur sobre una línea noreste-suroeste de este continente. Fuente: Compilado de Gan, Rodrigues y Rao, 2009 adaptado de Mechoso et al., 2005.

La distribución espacial de las series históricas de datos registrados por las estaciones meteorológicas del Desierto de Atacama en las regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá (figuras 4 y 5 respectivamente) demuestra la influencia de la circulación atmosférica descrita. Estaciones ubicadas a menor altura y bajo la influencia de la circulación del Pacífico, como es el caso de Arica (58 m.s.n.m.), apenas registran lluvias, pero en las estaciones de mayor altura, bajo la influencia del monzón sudamericano, los montos anuales pueden superar los 700 mm (figura 4). Esta gran diferencia en el comportamiento de las lluvias del Altiplano que bordea por el oriente al Desierto de Atacama respecto a su costa, puede ser verificada en los totales de precipitaciones de todo los años registrados en las estaciones de mayor altura consideradas en ambas regiones, como Caquena y Cancosa (ROMERO, et al., 2012).

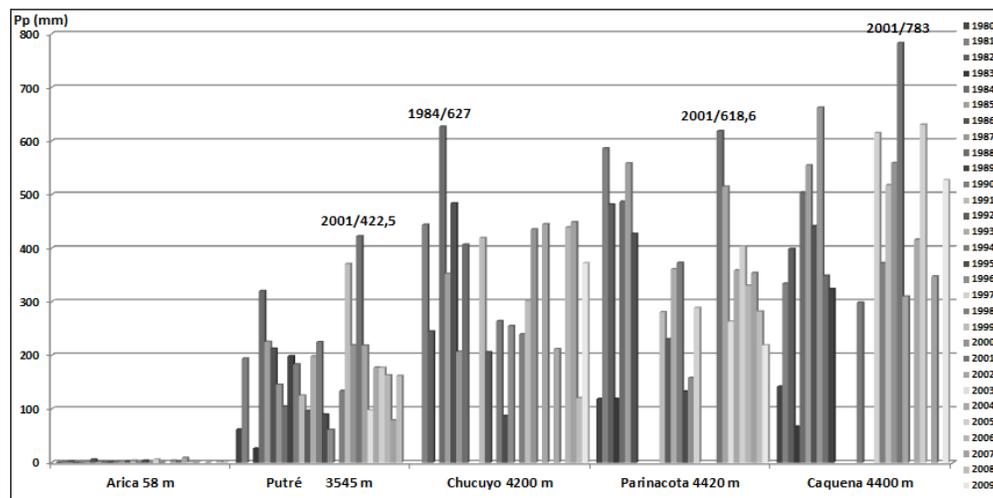


Figura 4. Precipitación total anual a lo largo del transecto latitudinal de la región de Arica-Parinacota (18°S). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos de la Dirección Meteorológica de Chile y de la Dirección General de Aguas (DGA).

Al avanzar hacia el sur, hacia la llamada región de Tarapacá, se produce una reducción de las precipitaciones en la medida que se aleja de las influencias amazónicas. La altura en que aumenta el monto anual de precipitaciones es, al igual que en el caso anterior, sobre los 3000 m.s.n.m. De las estaciones consideradas, sólo Cancosa se encuentra sobre esa altura, registrando un promedio de 150 milímetros anuales. Las estaciones restantes poseen montos anuales inferiores a los 80 milímetros, como Parca, que, a los 2650 m registra un promedio de 25 milímetros. El mayor promedio registrado por Cancosa demuestra el alcance de las influencias de los sistemas del este de la cordillera, asociados a Alta de Bolivia y al monzón sudamericano. Mientras estos sistemas pueden ser potencializados por la presencia de la fase fría del ENSO, como por ejemplo ocurrió los años 1984 y 2001, eventos La Niña ocurridos en verano, resultaron en montos totales de precipitaciones cercanos o superiores a 100 milímetros en todas las estaciones del altiplano. Cancosa presentó valores superiores a 350 mm en los dos eventos La Niña mencionados (figura 5) (ROMERO, et al., 2012).

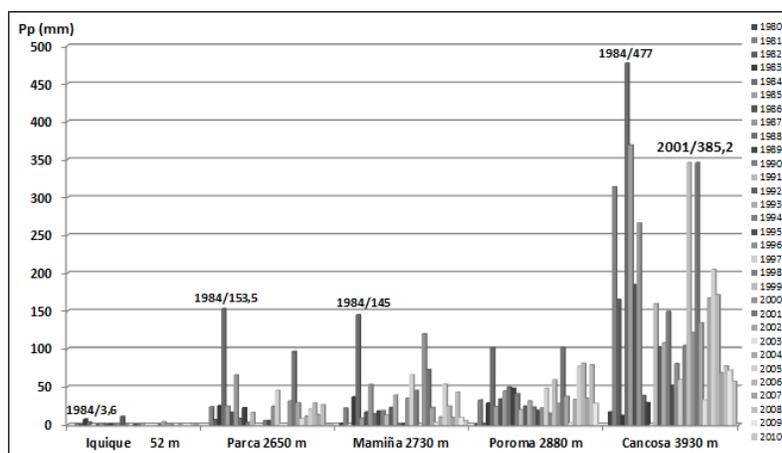


Figura 5. Precipitación total anual a lo largo del transecto latitudinal de la región de Tarapacá.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos de la Dirección Meteorológica de Chile y de la Dirección General de Aguas (DGA).

#### Variabilidad interanual de los climas del Desierto de Atacama

La precipitación en los Andes Centrales muestra una fuerte relación lineal con los vientos zonales de 200 hPa sobre el Altiplano, es decir, los veranos húmedos (secos) están relacionados con los flujos medios del este (oeste) en la troposfera superior, lo que sugiere que los mecanismos responsables de episodios húmedos en la escala intraestacional también actúan a escala interanual. Hay veranos que registran una mayor proporción de días del viento del este y por lo tanto de lluvias. La variabilidad interanual de las precipitaciones se expresa, por lo tanto, principalmente en un incremento en el número de días de lluvia (secos) en la temporada de lluvias y no en una mayor (menor) intensidad de las precipitaciones. Las anomalías de viento zonal y el comportamiento del Océano Pacífico no son independientes. Los vientos del nivel superior son parte de la amplitud de la respuesta atmosférica al patrón espacial de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Tropical y proporcionan la conexión física entre la forzante oceánica y el clima de los Andes centrales. Las correlaciones entre las series temporales de precipitación del Altiplano y la TSM contemporánea del Pacífico, a la altura geopotencial de 200 hPa y los vientos, muestran una influencia significativa de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) en la precipitación registrada en los meses de diciembre, enero y febrero en el Altiplano (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

Existe una relación significativa entre la precipitación en el Altiplano y las anomalías en los vientos zonales antes y después de El Niño, lo que es resultado de un fuerte gradiente de presión entre las latitudes tropicales y subtropicales del sur, consistente con las relaciones este/húmedo y oeste/seco derivadas de la escala sinóptica. Con el enfriamiento de la zona tropical del Pacífico (Fenómeno La Niña) hay un estrechamiento de la troposfera tropical y por lo tanto un mayor aumento en el flujo del este hacia el Altiplano, en respuesta a las diferencias de presión y temperatura entre las latitudes tropicales y subtropicales del sur, revirtiendo el patrón durante los veranos secos (Figura 6). Por lo tanto la disponibilidad de humedad en las tierras bajas tropicales no es un factor dominante para regular la precipitación en el Altiplano (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

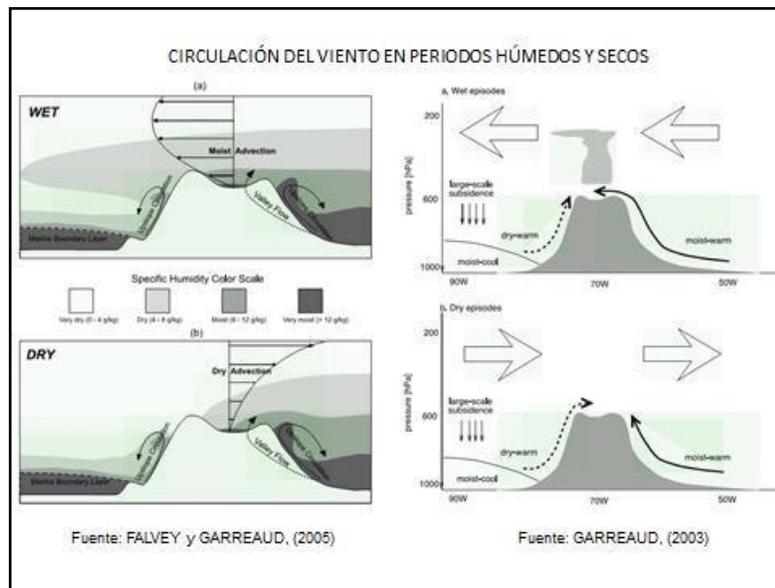


Figura 6. Dirección de los flujos atmosféricos de gran escala sobre la Cordillera de los Andes en los años El Niño (a) y La Niña(b), influenciando el transporte de humedad y las precipitaciones sobre el Altiplano.

La correlación entre el Fenómeno ENOS y las lluvias en el altiplano puede ser observada en la Figura 6 a y b. Esa influencia dependerá de la temperatura de la superficie del mar (TSM) en los trimestres de verano (NDE, DEF, EFM) (NOOA/NCEP, 2012). En algunos años no se verifican totales significativos de precipitación en años La Niña (1989 y 1996), pero si en años El Niño (1987). A pesar de la importancia de las anomalías de TSM en la región ecuatorial del Océano Pacífico, para la circulación de gran escala en Sudamérica, otros factores de escala global y regional también influyen la convección tropical, generando o dificultando la ocurrencia de las precipitaciones (ROMERO, et al., 2012).

Algunos hechos meteorológicos de gran escala acentúan o inhiben el desempeño de la ZCIT, en la medida que modifican los alisios del nordeste, asociados al desplazamiento meridional de la misma. Así, con relación a las variabilidades interanuales, todo indica que si la ZCIT se mantiene al norte de la línea del ecuador en condiciones de “dipolo caliente” (aguas más calientes en el Atlántico Norte), tanto en los años de la Niña como de Niños, influencia precipitaciones por debajo de la media en el Nordeste de Brasil. En condiciones de dipolo frío (aguas más calientes en el Atlántico Sur), la ZCIT se localiza al sur del ecuador, tanto en los años de El Niño como de La Niña, por lo cual en los primeros las precipitaciones sobre la media sólo ocurren en el extremo norte de la región, mientras que en las demás áreas predominan las sequías. Bajo las condiciones de La Niña, toda la región registra anomalías positivas. Las anomalías de precipitación en el noreste brasileño también están relacionadas con los mecanismos asociados a los movimientos ascendentes y subsidentes de las células de Hadley y de Walker (MELO, CAVALCANTI y SOUZA, 2009). En el Altiplano, en algunos años la correlación ENSO y totales de precipitaciones alcanzaron montos que casi duplicaron el promedio, como en el año 2001 en Caquena. En los veranos La Niña de 1984, 1999 y 2001, todas las estaciones registraron valores pluviométricos sobre el promedio, así como ocurrió en El Niño de 1987. También llovió debajo del promedio en los veranos El Niño de 1983, 1988, 1995, 2003, 2007 y 2010 y aun en los veranos La Niña de 1989, 1996, 2008 y 2009, con raras excepciones, lo que sugiere la influencia del dipolo del Atlántico, que debería ser mejor investigado para evaluar sus correlaciones con el clima del Altiplano (ROMERO, et al., 2012).

Con relación a las anomalía del ENSO, Lau y Zhou (2000) constataron la contribución de las corrientes de Chorro a la convección de las masas de aire en el Altiplano, debido a una gran reducción de las precipitaciones sobre la Amazonía, durante El Niño de 1997-98, asociada al desplazamiento hacia el sur de la circulación monzónica del verano de América del Sur y de sus sistemas causantes de lluvias. En esta situación, la Alta de Bolivia fue hidrostáticamente aumentada por un camellón de altos niveles atmosféricos que se extendía desde la

región de El Niño-3, en el Pacífico, hasta el altiplano andino. Esto indicaba que un intenso Chorro de Bajos Niveles penetró hasta los extra trópicos y al encontrarse con los chorros subtropicales, generaron condiciones dinámicas propicias para un aumento de la convección en el altiplano (MELO, CAVALCANTI y SOUZA, 2009). En la figura 7a se observan totales de hasta 600 mm registrados el año 1997 en Caquena, cuando cabría esperar cifras inferiores debido a la correlación negativa que existe entre la caída de lluvias y el Niño en el Altiplano. Por otro lado, no se observó lo mismo en Cancosa, pero si en Parca, donde también se registraron lluvias sobre el promedio (figura 10b). Ello podría estar indicando la actuación de la Corriente del Chorro, pero selectivamente en una escala topoclimática de cuencas (ROMERO, et al., 2012).

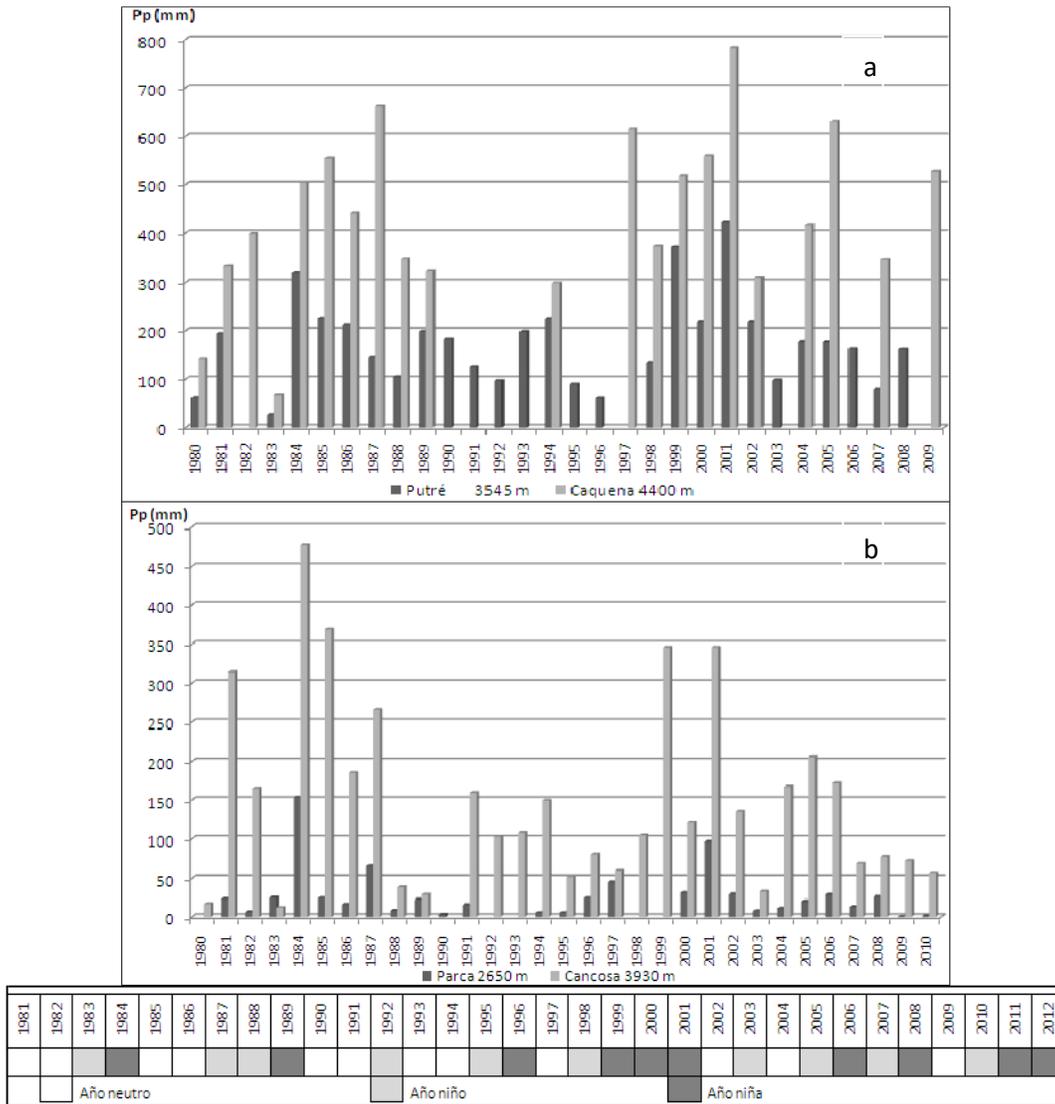


Figura 7. Identificación de la actuación del Fenómeno ENOS en los veranos de 1981-2009 y su influencia en las precipitaciones totales anuales en estaciones precordilleranas (Putre y Parca) y altiplánicas (Caquena y Cancosa) en las regiones de (a) Arica y Parinacota y (b) Tarapacá.

El examen de las series y su comparación revela una gran complejidad de las causas de las condiciones climáticas generadoras de precipitaciones y sequías. La actuación de los sistemas productores de tiempo meteorológico no tiene las mismas consecuencias en la totalidad del Altiplano, variando con la posición de las estaciones meteorológicas, continentales y costeras, su latitud y la orientación de las cuencas, demandando estudios topoclimáticos basados en una red meteorológica más amplia (ROMERO, et al., 2012).

### 3. La geografía de las extracciones de agua y sus impactos ambientales

Bajo resultados especialmente preocupantes que resultan de la aplicación de los modelos de cambio climático y teniendo en cuenta las variabilidades temporales y espaciales tan marcadas observadas en sus climas, se debería esperar una compleja y difícil respuesta de los sistemas socioecológicos en paisajes que tienen en la disponibilidad de agua, uno de sus componentes más sensibles. La naturaleza y la sociedad se han debido enfrentar permanentemente para poder satisfacer sus necesidades de agua en medio de grandes limitaciones e incertidumbres, debiéndose tener en cuenta que las oportunidades de desarrollo económico de Chile han estado siempre ligadas a las actividades económicas que se desenvuelven en el Desierto de Atacama, que en principio podría ser visto como una región inhóspita e inútil. Sin embargo, históricamente, es el Desierto de Atacama y sus áreas circundantes el área que ha brindado el hábitat más permanente y antiguo a los pobladores ancestrales y que ha sido objeto de explotaciones minerales que han sostenido en gran medida el progreso socio económico de Chile. En el siglo XIX la plata y el salitre y en el XX el cobre, molibdeno y oro han constituido las materias primas que han proporcionado las mayores divisas al país y que en la actualidad atraen a las mayores compañías transnacionales y chilenas, que realizan grandes inversiones para exportar minerales que satisfagan las necesidades industriales especialmente de Asia.

Para identificar la complejidad territorial de los procesos ecológico-sociales que se realizan en las cuencas del altiplano andino chileno, se analizan espacialmente las actividades que han demostrado ser de mayor impacto (López y Manzur, 2005; Yáñez y Molina, 2008; Folchi, 2009; Larraín y Poo, 2010), cartografiando los yacimientos mineros (SERNAGEOMIN, 2011), extracciones y destinos de agua subterránea (DGA, 2011), zonas de conservación de la naturaleza (CONAF, 2011), y presencia de humedales, entre otros fenómenos ecológico-sociales.

En la figura 8 se puede apreciar cómo las cuencas del altiplano de la región de Arica y Parinacota poseen escasa intervención por parte de la actividad minera, además de existir sólo unos pocos derechos de aprovechamiento de agua concedidos (para el yacimiento Choquelimpie, que no se encuentra en funcionamiento). No obstante, el Altiplano de esta región presenta las mejores condiciones de abastecimiento hídrico, como se ha visto en los párrafos anteriores, por lo que se transforma en un sitio estratégico para futuros proyectos económicos. Además, es posible observar que los sectores bajos de los valles de Azapa y Lluta concentran las mayores extracciones de agua subterránea, lo que denota la importancia de las relaciones entre las tierras altas y bajas de las cuencas. De hecho el acuífero de Azapa está declarado como “Zona de prohibición” de otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (DGA, 2011), debido a la relevancia de sus extracciones.

Para el caso de la región de Tarapacá (figura 9), en las cercanías del Altiplano Andino se encuentran tres yacimientos que forman parte de la Gran Minería: Cerro Colorado, Doña Inés de Collahuasi y Quebrada Blanca. Todas estas minas extraen grandes cantidades de agua desde los acuíferos de Lagunillas, Salar de Coposa y Salar de Michincha, habiendo causado graves daños a lagunas y bofedales (Yáñez y Molina, 2008; Larraín y Poo, 2010), que en la actualidad se intentan restaurar y que han sido objeto de grandes controversias con las comunidades indígenas que los usan para alimentar sus ganados. Otro sector muy complicado en esta región lo constituye la Pampa del Tamarugal, franja de las tierras bajas localizada en el corazón del desierto y que localiza extensas superficie arbóreas que se abastecen por la surgencia de aguas subterráneas. En esta delicada zona ecológica las aducciones son masivas y de gran envergadura (por parte de empresas sanitarias que abastecen de agua a la ciudad de Iquique y por la empresa Sociedad Química y Minera de Chile), lo que estaría generando serios daños a la Reserva Nacional del mismo nombre.

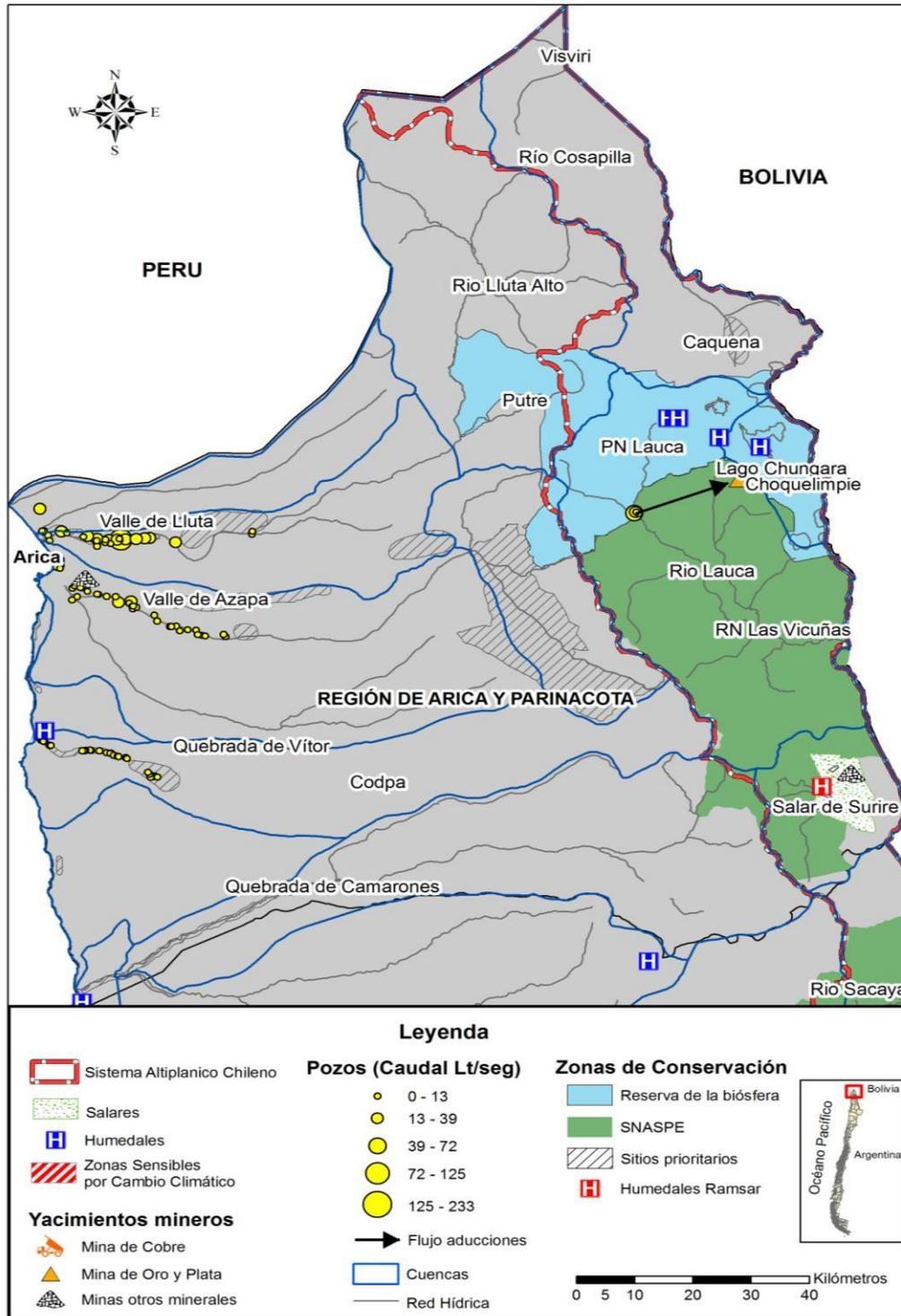
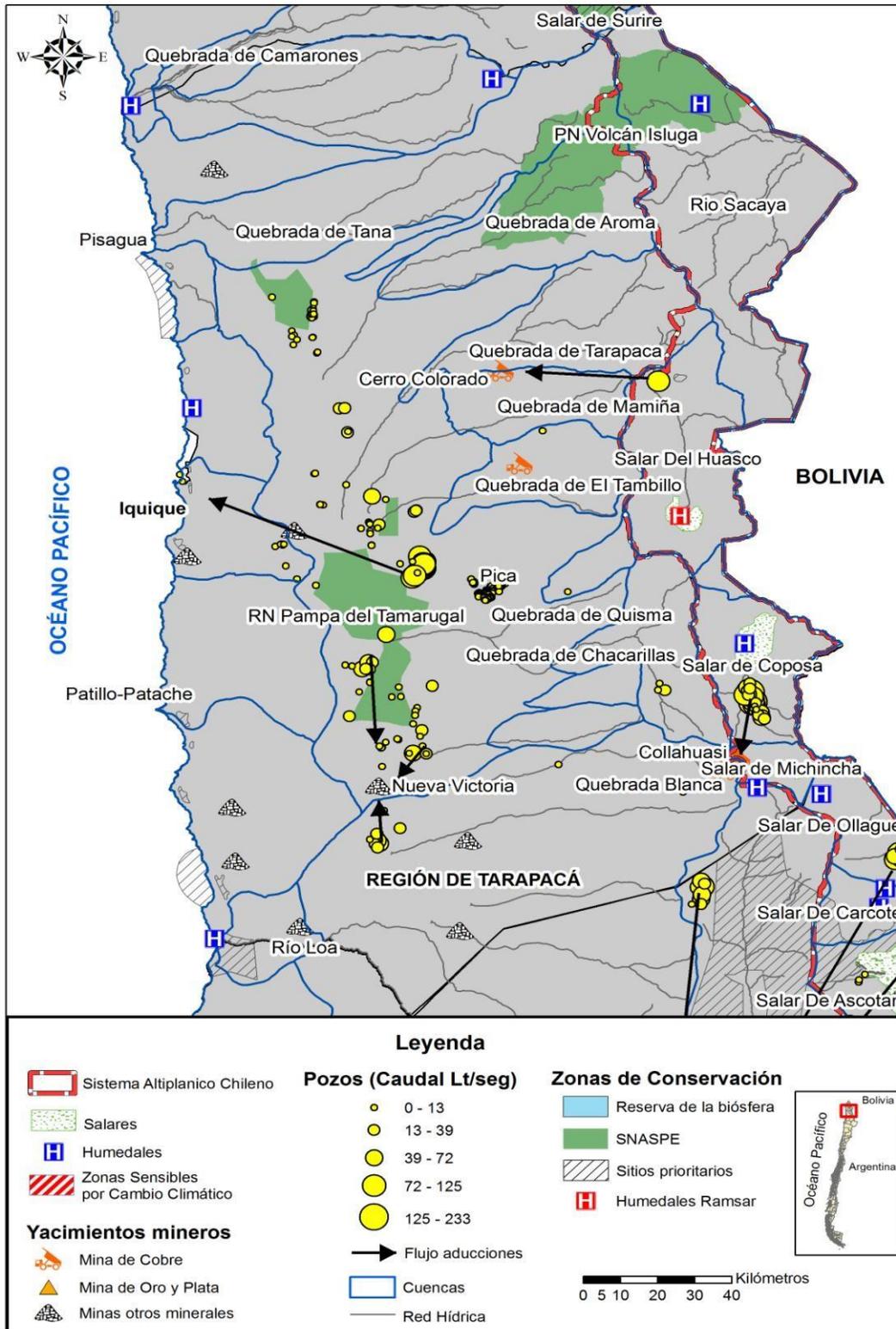


Figura 8. Características ecológico-sociales de las cuencas de la Región de Arica y Parinacota



9 Figura. Características ecológico-sociales de las cuencas de la Región de Tarapacá

Antofagasta es la región que presenta mayor complejidad respecto a la actividad minera y extracción de aguas subterráneas (figura 10), especialmente en cuatro zonas críticas principales:

- La primera de ellas se ubica al norte de la región e incluye a las cuencas de Salar de Ollagüe, Salar de Ascotán y cuenca alta del río Loa, donde se ubican 54 pozos, con una extracción total de 4.442 litros por segundo, muchos de los cuales, se localizan en “Sitios Prioritarios de Conservación de la Biodiversidad”. La mayoría de estas aducciones abastecen del recurso hídrico a la División Norte de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO).
- Otro sector crítico es la Cuenca Grande del Salar de Atacama, que además de comprender la cuenca homónima, incluye la del río San Pedro y el Llano de la Paciencia. Si bien la extracción de aguas subterráneas es menor, existe una gran intervención del Salar por parte de las mineras El Litio y SQM, causando un gran impacto visual. Además, durante la visita a terreno realizada a San Pedro (ver informe de terreno N°2) el encargado ambiental de la comuna, Diego Aramaya, indicó que las empresas hoteleras situadas en la localidad extraen grandes cantidades de agua para el mantenimiento de sus piscinas e instalaciones de lujo, lo cual no se pudo comprobar mediante los datos utilizados de la DGA.
- Un tercer sector de alta complejidad, son las cuencas situadas en la Puna de Atacama, muchas de las cuales pertenecen a la Reserva Natural Los Flamencos. En este sector se pueden apreciar dos sitios relevantes, como son el conjunto de cincuenta y dos pozos de extracción de agua subterránea, que suman 2.387 litros por segundo y que son destinados a las faenas mineras de Zaldívar y La Escondida. Esta área constituye además una gran extensión de Zonas Sensibles por Cambio Climático. Según esta última clasificación, realizada de acuerdo con el estudio elaborado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile en el año 2006, en las próximas décadas se espera un aumento significativo de la temperatura y una disminución igualmente importante de las precipitaciones, lo cual, sumado a la extracción de aguas subterráneas, se constituye en una amenaza sustancial para la subsistencia de los ecosistemas de la zona.
- El siguiente sector crítico corresponde a la cuenca del Salar Punta Negra, en la que se localiza el Parque Nacional Lullailaco y del cual se extraen 1.211 litros por segundo, que pertenecen exclusivamente al yacimiento La Escondida. Esta extracción ha llevado a la reducción considerable de las lagunas que se situaban en la superficie del salar (Yáñez y Molina, 2008).

Si bien es posible observar en todos los casos que la complejidad territorial está estructurada por el concepto de cuenca, lo que implica una relevante conectividad espacial entre las tierras altas y bajas, en muchos casos, la ausencia de cursos superficiales de agua es sustituida por flujos subterráneos que impiden apreciar con claridad estas interacciones, pero que deben estar presente en todo proyecto de conservación ambiental.

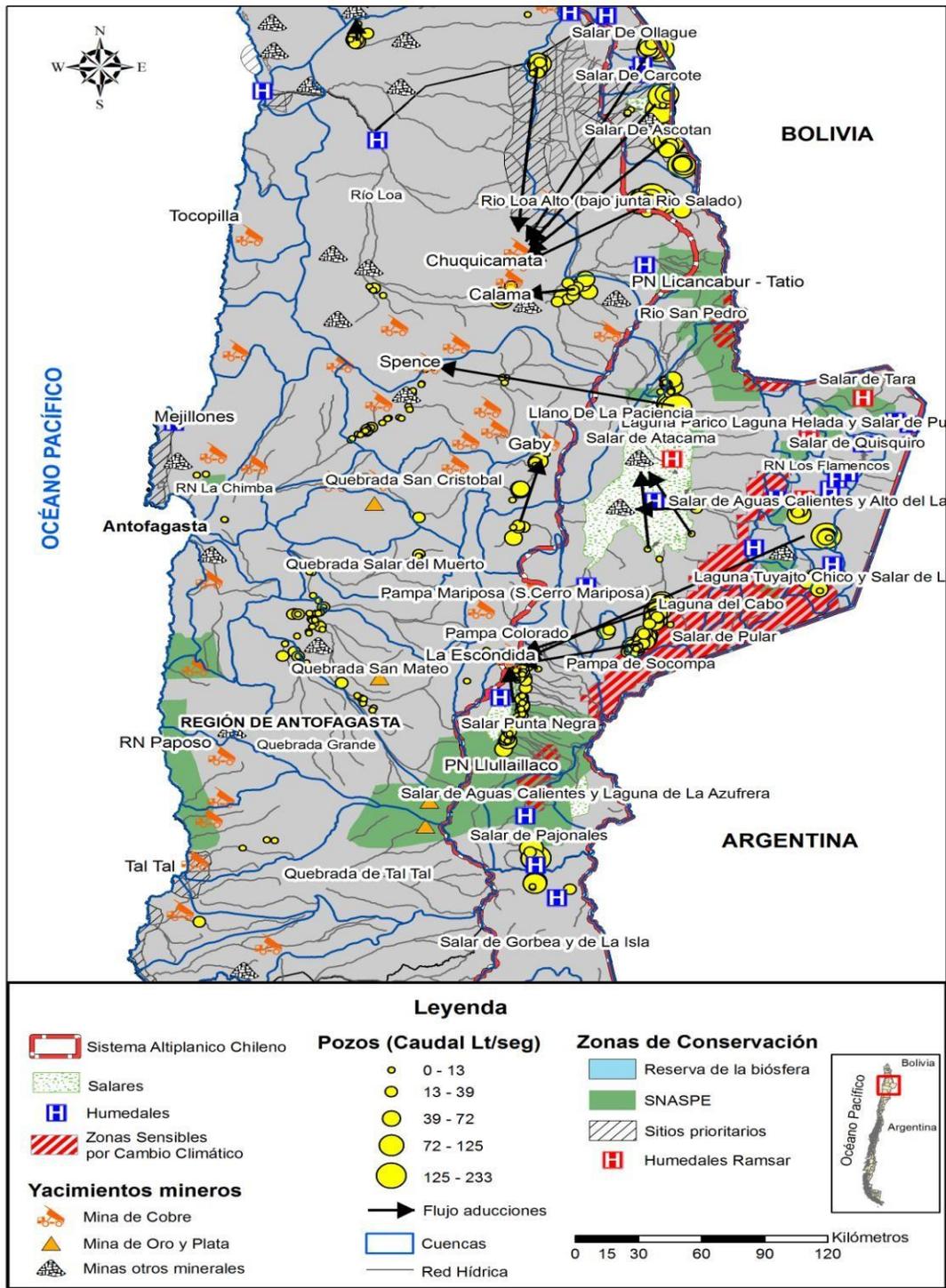


Figura 9. Caracterización ecológica social de las cuencas de la Región de Antofagasta

En la región de Atacama (figura 11) se aprecian dos áreas de concentración de pozos de extracción de agua subterránea en el área de estudio. La primera de ellas situada en el Salar de Pedernales, cuyas aducciones son menores (630 litros por segundo) para abastecer las minas de El Salvador (Cobre) y La Coipa (Oro). El sector más complicado es la cuenca del Salar de Maricunga donde, además de situarse el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces, existen 48 pozos de extracción, los que alcanzan un caudal otorgado de 3.318 litros por segundo,

que abastecen a las faenas mineras de La Coipa, Maricunga y Cerro Casale (todos yacimiento de oro).

Fuera del área estudio, se puede apreciar que la cuenca del río Copiapó es un sector colapsado por la extracción de agua subterránea para la pequeña y mediana minería del cobre y cultivos de exportación (134 pozos asociados a un caudal otorgado de 4.719 litros por segundo), lo cual ha causado el desecamiento absoluto del río, cuya cuenca ha sido declarada “Zona de Prohibición” de otorgamiento de derechos de agua desde el año 1994 (DGA, 2011).

Finalmente, se destaca que la mayoría de las aducciones de la totalidad del área de estudio, se encuentran en el altiplano y abastecen a la actividad minera (Figura 10). Ante esto, se debe considerar el carácter sistémico de la red hídrica, que si bien puede no conectarse superficialmente, se asume que existe la posibilidad de interconexión subterránea entre las cuencas cerradas del altiplano y las precordilleranas (Zuzuki y Aravena, 1984; Herrera *et al*, 2006), lo que incidiría en el desecamiento de la red que abastece a las zonas más bajas del sistema.

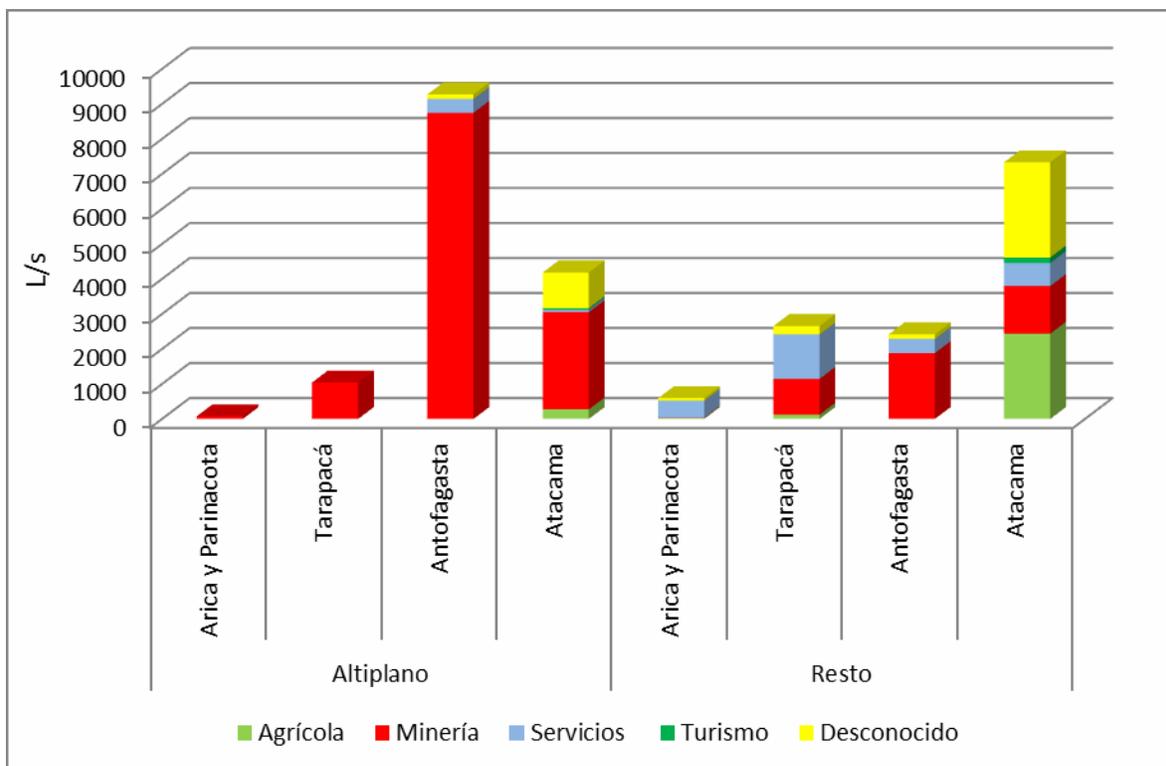
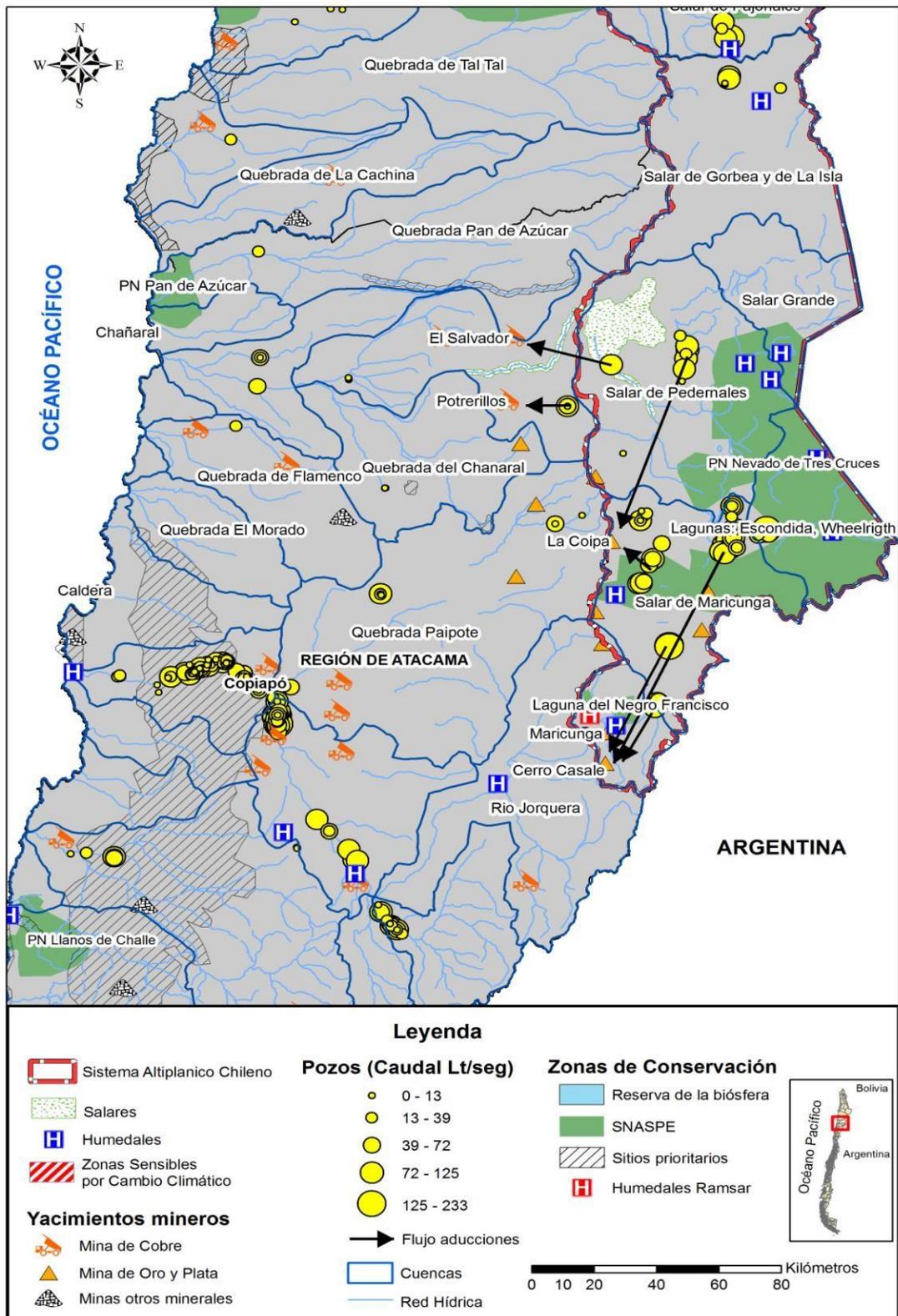


Figura 10. Caudales otorgados por unidad territorial y actividad.



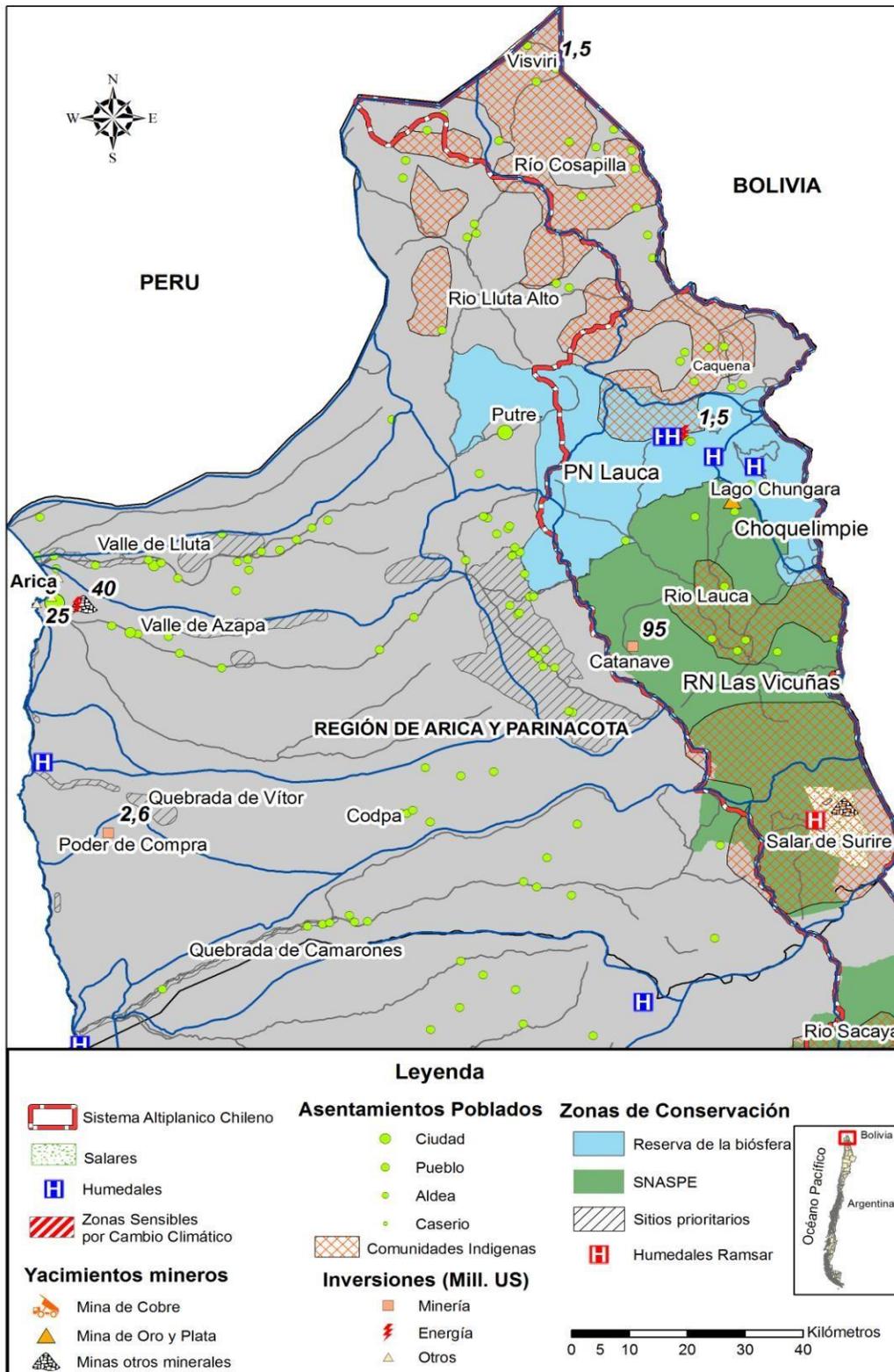
11. Figura Caracterización ecológica-social de las cuencas de la Región de Atacama

#### 4. Las demandas territoriales de recursos hídricos

Para evaluar las demandas por recursos territoriales que se localizan en el Desierto de Atacama fueron analizados espacialmente los territorios reclamados por comunidades indígenas, las zonas asignadas para la conservación de la biodiversidad -que incluyen áreas declaradas como Reservas de la Biósfera, que pertenecen al Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), son Sitios Prioritarios de Conservación de la Biodiversidad, o bien se trata de Humedales sometidos a la Convención Ramsar (CONAF, 2011). Igualmente se han considerado las demandas sociales asociadas a la ubicación de los centros poblados según su jerarquía, determinada por el tamaño de la población residente en ellos (INE, 2002), y los proyectos de inversión económica que se localizan o pretender hacerlo en sus respectivos hinterlands (SEA, 2011).

En la región de Arica y Parinacota (figura 12) se observa una importante superposición espacial entre los territorios reclamados por las comunidades indígenas y las zonas de conservación de la naturaleza. En este aspecto, y sobre la base de las conversaciones sostenidas en terreno con las comunidades, se advierte que éstas evalúan negativamente estas figuras de protección respecto a su libertad para aprovechar los recursos naturales disponibles, por ejemplo, el aprovechamiento de la lana de vicuña. Los asentamientos poblados son numerosos y atestiguan una alta ocupación humana en el pasado, encontrándose en el centro de las áreas comunitarias y a lo largo de ríos y quebradas, algunos de los cuales corresponden a áreas de conservación de la naturaleza. Localidades pobladas y caseríos se sitúan en el centro y dentro de las áreas de pastoreo, que corresponden especialmente a bofedales en los que se alimentan y reproducen los ganados auquénidos, principal sustento económico de los pueblos indígenas del altiplano.

En cuanto a las inversiones económicas contemporáneas, sólo existen dos proyectos relevantes: electrificación de la comuna de General Lagos y proyecto minero Catanave. Este último proyecto se visualiza como la punta de lanza para la apertura de la gran minería en la región donde existen extensas concesiones mineras otorgadas (SERNAGEOMIN, 2011).



12 Figura. Demandas territoriales de la Región de Arica y Parinacota

En el caso de la región de Tarapacá (figura 13), no se aprecia el patrón de colisión territorial entre las tierras demandadas por las comunidades indígenas y las zonas de conservación de la naturaleza, puesto que existe sólo un caso en que ambas demandas se superponen espacialmente, ubicado en el sector sur del Parque Nacional Volcán Isluga. No obstante, se aprecia una concentración de inversiones mineras en las cercanías del área de estudio, que corresponden a las ampliaciones de extracción de los yacimientos de Cerro Colorado, Doña Inés de Collahuasi y Quebrada Blanca; estas dos últimas concentran U\$560 millones de inversión. Cabe destacar que Collahuasi mantiene una solicitud de aprovechamiento de agua por un caudal de 903 litros por segundo (DGA, 2011) en la cuenca del Salar del Huasco (recientemente declarado Parque Nacional). Pese a esto, las zonas que se aprecian con mayor concentración de inversiones, y susceptibilidad a sus impactos, es la Pampa del Tamarugal y la Quebrada de Mamiña (Cerro Colorado), cuyos proyectos suman 1.833 millones de dólares.

Por su parte, la región de Antofagasta (figura 14), nuevamente presenta una elevada concentración de las demandas territoriales y su consiguiente colisión espacial. En este sentido, la mayor superposición de intereses dentro del área de estudio se presenta en el Parque Nacional Licancabur-Tatio y en la Reserva Nacional Los Flamencos, cuyas superficies se encuentran reclamadas por las comunidades indígenas que allí se localizan. Si se incorpora al análisis la extracción de agua por parte de los yacimientos de la gran minería (figura 34), se aprecia una superposición de las aducciones respecto a las tierras reclamadas. Dentro del área de estudio, las inversiones se concentran en el Salar de Atacama, con un total de U\$898 millones. No obstante, y como ya se ha señalado, la complejidad y volumen de las inversiones que se encuentran fuera del área de estudio de la región, que superan con creces los U\$10.000 millones, influyen directa e indirectamente sobre el altiplano, pues la gran mayoría de los recursos hídricos necesarios para desarrollar estas inversiones proviene de las cuencas altas de la región.

La región de Atacama (figura 15) se muestra con escasos proyectos en el área de estudio, focalizada en la minería del oro y los servicios asociados, con una inversión total de U\$365 millones, que se encuentran concentrados en las cuencas del Salar de Maricunga, la Laguna del Negro Francisco y en la sección superior del río Jorquera. Estos proyectos extraen agua subterránea de la cuenca superior del Salar de Maricunga (en el Parque Nacional Nevado de Tres Cruces), lo que ha traído como consecuencia el desecamiento de algunas vertientes que drenan hacia el salar principal, como por ejemplo el río La Cascada. Otros sectores neurálgicos de concentración de inversión en la región son la cuenca del río Salado (con U\$566 millones), asociados a los yacimientos de El Salvador y Potrerillos; la cuenca del Copiapó (U\$1.330 millones), asociado a la pequeña y mediana minería y la agricultura de exportación y la sección superior de la cuenca del Huasco (U\$5.116 millones), asociados al proyecto Pascua Lama.

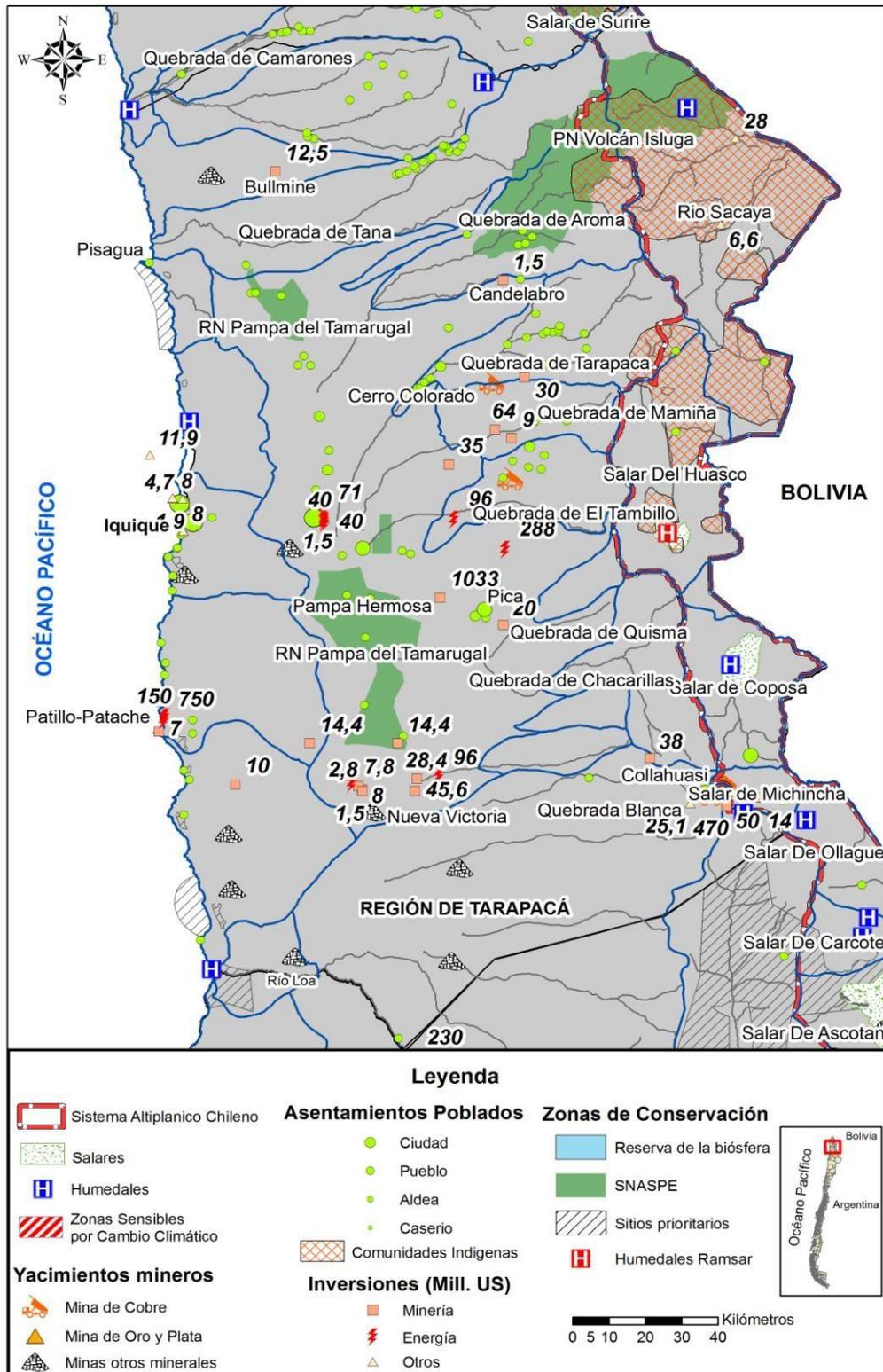
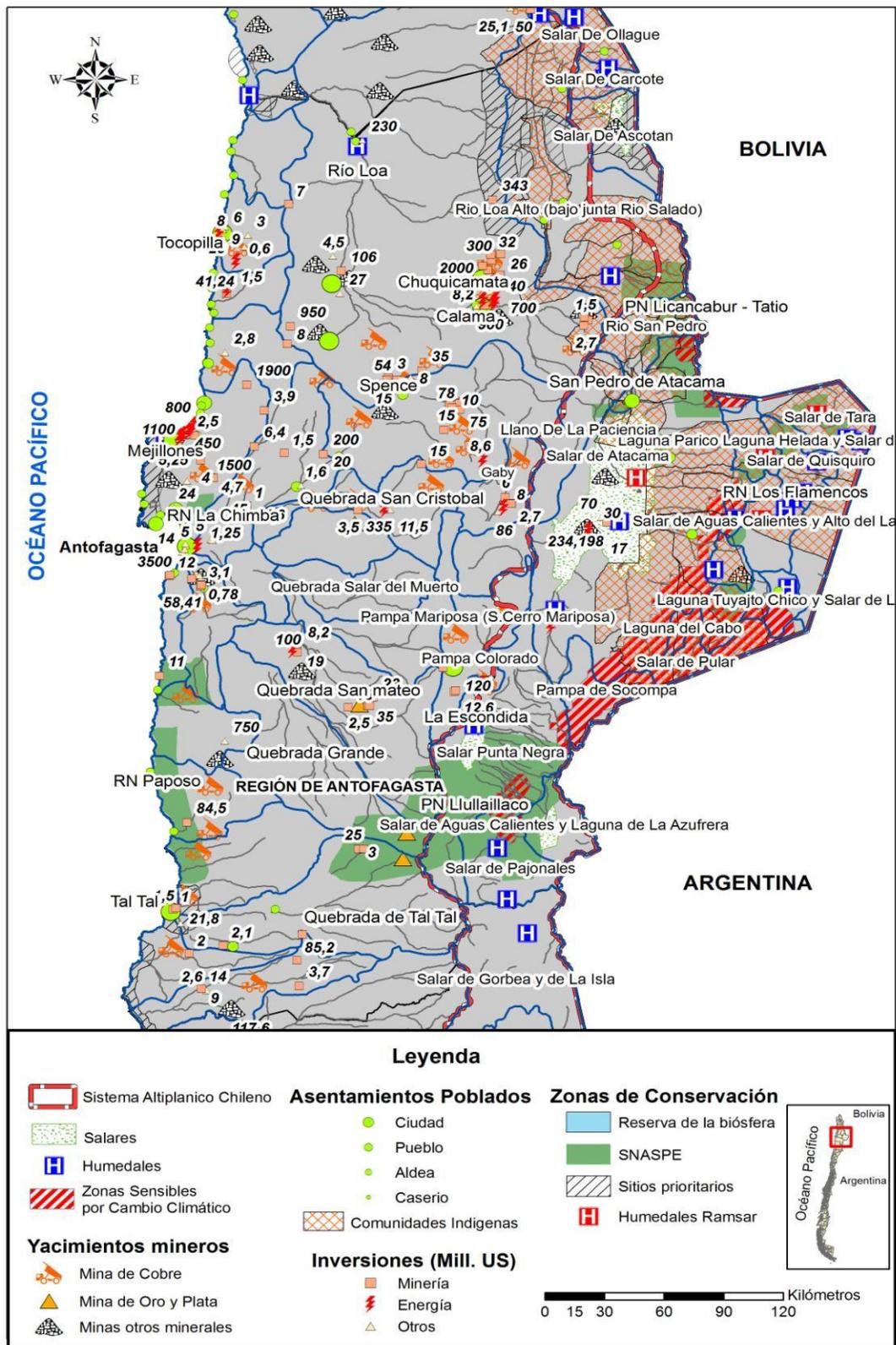


Figura 13. Demandas territoriales de la Región de Tarapacá



14. Demandas territoriales de la Región de Antofagasta

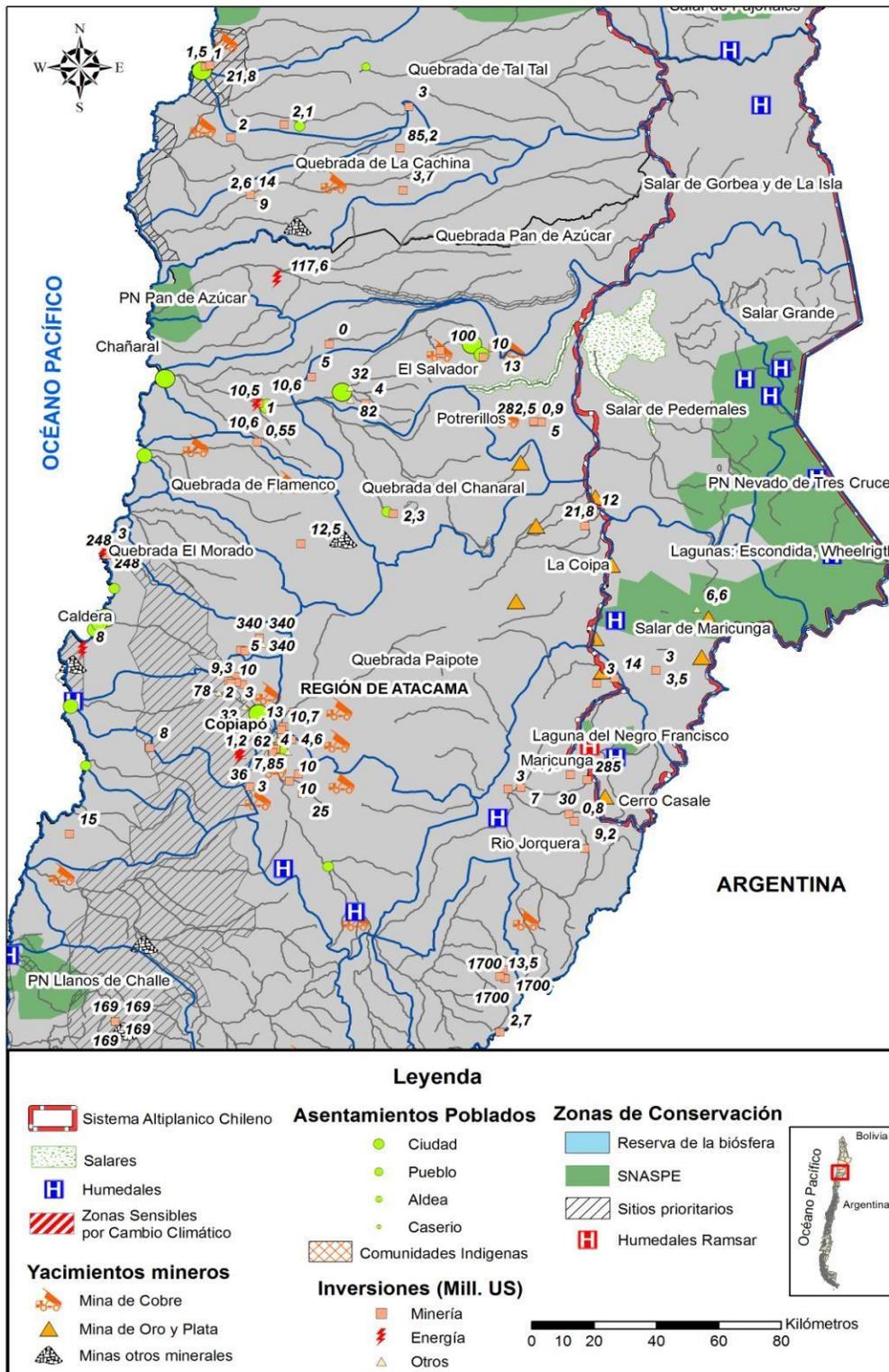


Figura 15. Demandas territoriales de la Región de Atacama

## Conclusiones

El Desierto de Atacama y sus áreas circundantes constituyen complejos sistemas territoriales, conformados por

series de cuencas que vinculan en forma superficial y subterránea las fuentes, flujos y zonas de surgencia de las aguas. Estos sistemas hídricos organizan el territorio de forma tal que es posible su habitabilidad y explotación de sus recursos naturales, que no sería posible de otra forma, dada su extraordinaria aridez. La presencia de lluvias sobre las alturas andinas, permiten la acumulación de recursos hídricos en lagos y lagunas de agua dulce y salada, y, esencialmente, en los mantos acuíferos subterráneos que han conectado paleoclimáticamente y conectan en la actualidad las tierras altas y bajas. Asegurar la recarga de los cuerpos de agua y sus flujos a través del desierto más árido del mundo posee profundas implicancias ecológico-sociales.

La climatología del Desierto de Atacama constituye en sí misma un sistema complejo de interacciones espacio-temporales entre el océano y la atmósfera del Océano Pacífico, las montañas y altiplanicies andinas y el corazón del continente sudamericano, dónde se origina el monzón amazónico. Las enormes variabilidades interanuales de las precipitaciones y su asociación con los fenómenos El Niño y La Niña representan, en primer lugar, la complejidad de las teleconexiones que abarcan ambas vertientes de Los Andes y en segundo lugar, la incertidumbre que impide conocer las reales disponibilidades de agua. Mientras las economías eran locales y campesinas es posible que los procesos de adaptación fueran más posibles, pero en tiempos de globalización, las presiones por el uso de los recursos hídricos contraponen diversos actores que tienen como objetivo la conservación de las tierras y las aguas, tales como las comunidades indígenas y rurales y los servicios de protección de la naturaleza, respecto a las compañías mineras y de abastecimiento de agua potable para las ciudades, que requieren ingentes cantidades de agua para sus procesos productivos y para sostener las poblaciones urbanas.

Es demasiado evidente que en Chile en general y en el Desierto de Atacama en particular, es necesario y urgente implementar la planificación y gestión integrada de cuencas. La existencia misma de sus paisajes ecológico-sociales así lo exigen y las situaciones de crisis hídrica han llegado a ser definitivas como para soslayarlo. Ante las necesidades de agua insatisfechas en los sectores agrícola, minero y urbano, se están construyendo grandes plantas de desalación de agua de mar, que requieren a su vez enormes cantidades de energía, que tampoco se posee en forma sustentable a escala regional. La solución encontrada está impidiendo nuevamente, sin embargo, hacerse cargo de las reformas institucionales que son requeridas para enfrentar el agotamiento de los recursos hídricos, que oculta también inadecuadas formas de uso y manejo.

Persiste una interrogante fundamental, que se refiere a la posibilidad real de implementar planes y programas de gestión integrada de cuencas que sean compatibles con la mercantilización, privatización y propiedad privada de los derechos de agua. Las leyes que han permitido por más de treinta años el funcionamiento de estos procedimientos institucionales- y que han causado grandes daños ecológico y sociales en los territorios del Norte de Chile-, impiden la participación del Estado en la asignación y regulación de los usos del agua en el desierto más árido del mundo. Los intereses políticos y económicos, con escasas consideraciones ecológicas y sociales sitúan el asunto en la arena de las más importantes decisiones socio-políticas que debe enfrentar este país. La implementación legal de la Evaluación Ambiental estratégica podría significar una oportunidad de abordar los debates y reformas institucionales que permitan la gestión integrada de los paisajes geoecológicos de sus cuencas.

#### Bibliografía

- ACEITUNO, P. (1998). Climate elements of the South American Altiplano (in Spanish). *Rev. Geofísica-IPGH*, **44**, 37–55.
- ALVES, L. M. (2009) Clima da Região Centro-Oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da y DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, p. 235-24.
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF), (2011). Descarga de archivos JPG desde página web <http://www.conaf.cl/parques/index.html>. Visitada entre el 24 y el 26 de enero del presente año.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (2011). Registro público de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas y superficiales constituidos (1990 – 2010). Descarga de archivos Excel desde página web <http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/derechosconstituidos/Paginas/default.aspx>. Visitada entre el 24 y el 26 de enero del presente año.

FOLCHI, M. (2009). Política, ambiente y la insustentabilidad de la minería en Chile. En: Extractivismo, política y sociedad. Centro andino de acción popular y Centro latinoamericano de ecología social. 79 – 106. Georgetown University. Vol. 2 N°1. 88 – 99.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKY, C. F. (2004). The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. *Journal of Climate*, v.17, p. 47-66.

GAN, M.; RODRIGUES, L. C.; RAO, V. B. (2009). Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da y DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 297-316.

GARREAUD, R., VUILLE, M. and CLEMENTS, A. (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and past change mechanisms. *Paleo3*, 3054, 1-18.

LARRAÍN, S. Y POO, P. (2010). Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del mercado. Programa Chile Sustentable.

LÓPEZ, C. Y MANZUR, A. (2005). Acciones ciudadanas y Análisis de Impactos Vinculados a Extracción de Aguas Subterráneas en Salares Altoandinos, Región de Tarapacá.

LAU, K.M.; ZHOU, E.J. (2000). Rainfall regimes and interannual variability of South American summer monsoon. In: VI International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Santiago, Chile, 2000. Extended Abstracts. Santiago: Amer. Meteor. Soc.,2000. P 153-154.

MARENGO, J. A., AMBRIZZI, T. e SOARES, W. R. (2009). Jato de Baixos Níveis ao longo dos Andes. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da e DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 169-180. global monsoon systems: research. Geneva: World Meteorological Organization. WMO/TD, n.1266 (TMRP Rep. n. 70), 2005.p. 197-206.

MECHOSO, C. R.; ROBERTSON, A. W.; ROPELEWSKY, C.F.; GRIMM, A. M. (2005). The American monsoon systems: An introduction. In: CHANG, C. P.; WANG, B.; LAU, N.-C. G. (Eds.) *The Global monsoon system: research and forecast*. Geneva: World Meteorological Organization, WMO/TD, n. 1266 (TMRP rep. n. 70); 2005. P. 197-206.

MELO, A. B. C. de; CAVALCANTI, I. F. de A. y SOUZA, P. P. (2009) Zona de Convergencia Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da y DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 25-41.

MORAN, J. M.; MORGAN, M. D (1986). *Meteorology; The atmosphere and the science of weather*. Minneapolis: Burgess Publishing.

NOAA/NCEP (2012). Cold & Warm Episodes by Season. Change to the Oceanic Niño Index (ONI). Consulta en: [www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis). Fecha: 06 a 10 /04/2012.

ROMERO, H.; MENDONÇA, M., MENDEZ, M. y SMITH, P. (2011) Multiescalaridade, Relações Espaciais e Desafios Ecológicos-sociais da Climatologia Sudamericana. O caso do Deserto de Atacama. *Revista Brasileira de Climatologia* No. 8, 2011. Consulta en: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima>. Fecha: 28/03/2012

ROMERO, H.; MENDONÇA, M., MENDEZ, M. y SMITH, P. (2012) Macro y Mesoclimas del Altiplano Andino y Desierto de Atacama: Desafíos y Estrategias de Adaptación Social ante su Variabilidad. (enviado)

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA), (2011). Sistema electrónico de ingresos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Descarga de archivos Excel desde página web <http://www.sea.gob.cl>. Visitada entre el 24 y el 26 de enero del presente año.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN), (2011). Estadísticas de concesiones y producción minera. Descarga de archivos desde página web [http://www.sernageomin.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=199&Itemid=259](http://www.sernageomin.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=199&Itemid=259). Visitada entre el 24 y el 26 de enero del presente año.

YÁÑEZ, N Y MOLINA, R. (2008). La gran minería y los derechos de indígenas en el norte de Chile. Ed. LOM.