



Agua y recurso hídrico en el Sudoeste de Potosí



Agua y recurso hídrico en el Sudoeste de Potosí

Jorge Molina Carpio



FOBOMA-

Agua y recurso hídrico en el Sudoeste de Potosí

Publicado por FOBOMADE en marzo 2007

FOBOMADE aprecia la difusión del material de esta publicación citando la fuente.



©**FOBOMADE**

Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo

Presidente: Javier Aramayo Caballero

Vicepresidenta: Elizabeth Evelin Mamani Patana

Secretario General: Alex Blacutt Pandal

Av. Villazón 1958

Piso 6 A

Teléfono: 591 2 2315059 - Fax: 591 2 2315058

Casilla: 5540

fobomade@fobomade.org.bo

<http://www.fobomade.org.bo>

La Paz - Bolivia

Fotografía de tapa: María Luisa Ramos

Mapa de tapa: NASA

Diagramación y diseño: Lalo Lazo



CGIAB

Comité para la Gestión Integral del Agua en Bolivia

Coordinación General: Centro de Estudios Superiores Universitarios

Universidad Mayor de San Simón - CESU UMSS

Dirección: Calama E 0235

Teléfono: 591 4 4252951 - Fax: 591 4 4254625

Casilla: 5389

cgiab@aguabolivia.org

<http://www.aguabolivia.org>

Cochabamba - Bolivia

DL: 4-1-774-07

ISBN: 978-99905-922-1-4

Impresión Creart Impresores: Tel. 2480747

Con el apoyo del PROGRAMA,
Ejecutado por:



Financiado por:

CONTENIDO

1. LA REGION.....	1
2. POBLACIÓN Y ACTIVIDAD ECONOMICA	9
2.1 Bolivia.....	9
2.2 Chile.....	11
3. CLIMA	16
3.1 El clima del pasado.....	16
3.2 El clima actual.....	19
Las lluvias.....	19
Evaporación.....	24
Otras variables climáticas.....	27
4. HIDROLOGIA Y RECURSOS HÍDRICOS	28
4.1 Cuencas y ambientes hídricos	28
4.2 Caracterización hidrológica y aguas subterráneas.....	30
5. CALIDAD DE AGUAS	37
6. USO DEL AGUA E IMPACTOS AMBIENTALES	43
6.1 Uso del agua en el norte de Chile.....	43
6.2 Los impactos ambientales	45
6.3 Demanda y mercado del agua en Chile	47
6.4 Uso del agua y posibles impactos en Bolivia	50
7. EL PROYECTO SAN CRISTÓBAL.....	51
7.1 Descripción del proyecto y demanda de agua.....	51
7.2 Las fuentes y el balance hídrico.....	52
Balance hídrico.....	55
Calidad del agua.....	57
7.3 Impactos ambientales.....	58
7.4 El marco legal	61
8. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS.....	62
8.1 Conclusiones.....	62
Clima y recursos hídricos.....	62
Uso, demanda y mercado del agua	64
Medio ambiente	65
El proyecto San Cristóbal.....	66
8.2 Investigación y monitoreo.....	67
Evaluación de los recursos hídricos del sudoeste de Potosí	67
Monitoreo del acuífero Jaikihua y estación hidrométrica del río Grande	68
Hidrogeología.....	69
8.3 Aguas internacionales	69
REFERENCIAS	71

PRESENTACIÓN

El agua es fundamental para las actividades humanas y los ecosistemas del Altiplano sur de Bolivia y de la zona contigua del Norte de Chile, que tienen un clima árido y recursos hídricos limitados. Debido a la explotación de los grandes recursos mineros de la región, la presión sobre esos recursos hídricos es ya muy grande y tiende a aumentar con el tiempo, afectando en particular a las poblaciones originarias.

Históricamente el aprovechamiento de aguas internacionales ha sido parte importante de las relaciones bilaterales entre Bolivia y Chile, incluyendo los conflictos (gran parte de los conflictos internacionales no resueltos sobre aguas son con ese país), lo que se explica en parte por la aridez de la región y la necesidad de agua que tienen las regiones de Arica y Antofagasta en Chile. A ello se suma la reivindicación histórica sobre las costas del Litoral (actualmente Antofagasta), que Bolivia perdió como resultado de la Guerra del Pacífico, de la que Chile resultó vencedor.

Hace algunos años una empresa privada propuso exportar aguas del Sudoeste de Potosí, para cubrir la demanda, ante todo minera, del norte de Chile. Aprovechando los vacíos en la legislación boliviana y la falta de una política de aguas internacionales, los impulsores del proyecto lograron que algunos legisladores presentaran una propuesta de ley de exportación de aguas del Sudoeste de Potosí. Sin embargo y contrariamente a lo que esperaban sus patrocinadores, esa propuesta de ley sirvió para poner en la agenda nacional el rol e importancia del agua en esa región. La movilización de los sectores sociales llevó a que se aprobase una ley que prohibía la exportación de aguas y situaba a ese recurso como un aspecto central para el desarrollo del Sudoeste de Potosí.

El presente trabajo pretende aportar a la discusión y toma de decisiones en el tema de aguas internacionales desde una perspectiva técnica y con la mejor información disponible, mediante el análisis de un estudio de caso. Inicialmente y en base a la sistematización y el análisis de información obtenida tanto en Bolivia como en Chile, se describe las características demográficas y actividades económicas de la región, para luego desarrollar los temas de clima, hidrología y disponibilidad de recursos hídricos, incluyendo calidad de aguas. A continuación se evalúa el uso actual del agua y los posibles impactos ambientales que resultarían de la explotación de nuevas fuentes superficiales y subterráneas, tomando como referencia los impactos producidos por proyectos ya existentes, ubicados ante todo en el norte de Chile.

Como un tema particular pero relacionado con el resto del estudio, se describe y analiza el proyecto minero San Cristóbal, que representa la inversión minera más grande realizada en

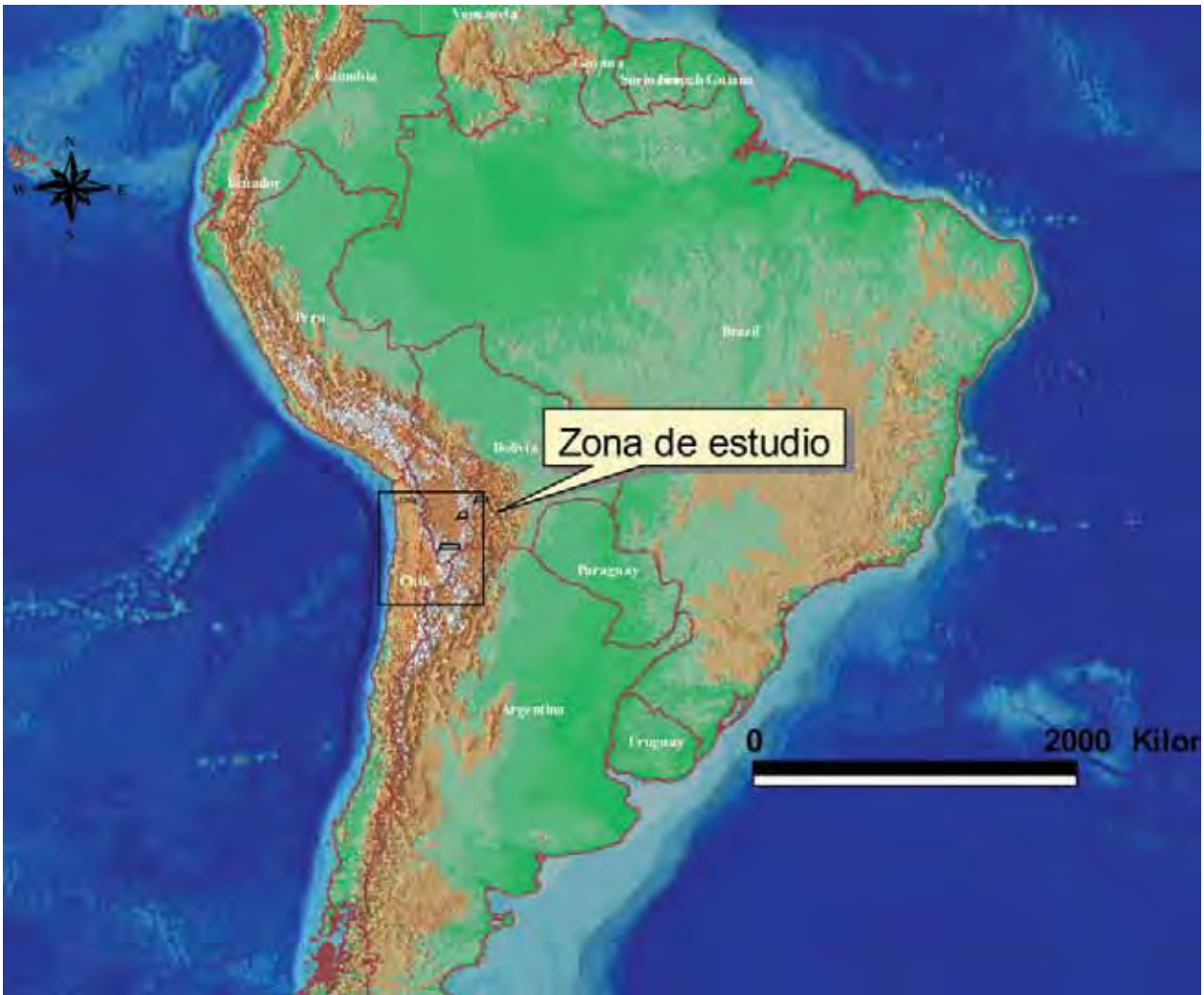
Bolivia en las últimas décadas y cuya fase de explotación se iniciará el 2007. Se da énfasis a las necesidades de agua del proyecto, los impactos ambientales que producirá la extracción de agua y el marco legal en que se desenvuelve.

Posteriormente se identifican algunas propuestas de investigación sobre los recursos hídricos de la región y de monitoreo de los impactos asociados a la explotación de esos recursos. Finalmente se presentan algunas conclusiones y sugerencias sobre el tema de aguas internacionales, partiendo desde una perspectiva técnica que toma en cuenta la información y la experiencia acumulada sobre los recursos hídricos del Sudoeste de Potosí. Se espera así contribuir al debate sobre la importancia estratégica de los recursos hídricos del país y los vacíos en materia de legislación nacional e internacional, lo que es especialmente relevante en un momento como el actual, que el país está en el proceso de construir una visión propia.

1. LA REGION

Entre los 14° y 23° de latitud sur se extiende en Sudamérica la región del Altiplano, una extensa cuenca enclavada entre dos grandes ramales de la Cordillera de Los Andes (ver figura 1.1). Entre estos dos ramales, que se denominan Cordillera Occidental y Cordillera Oriental, se extiende una planicie central de origen sedimentario, que presenta un suave declive norte-sur, entre los 3900 y 3660 metros sobre el nivel del mar. El agua escurre hacia algunos grandes lagos y salares y no tiene desagüe hacia el mar, por lo que se dice que la región es endorreica. La cuenca del Altiplano tiene un área de aproximadamente 200,000 km², 73% de los cuáles se sitúa en territorio boliviano. Ocupa también parte del sureste del Perú y noreste de Chile.

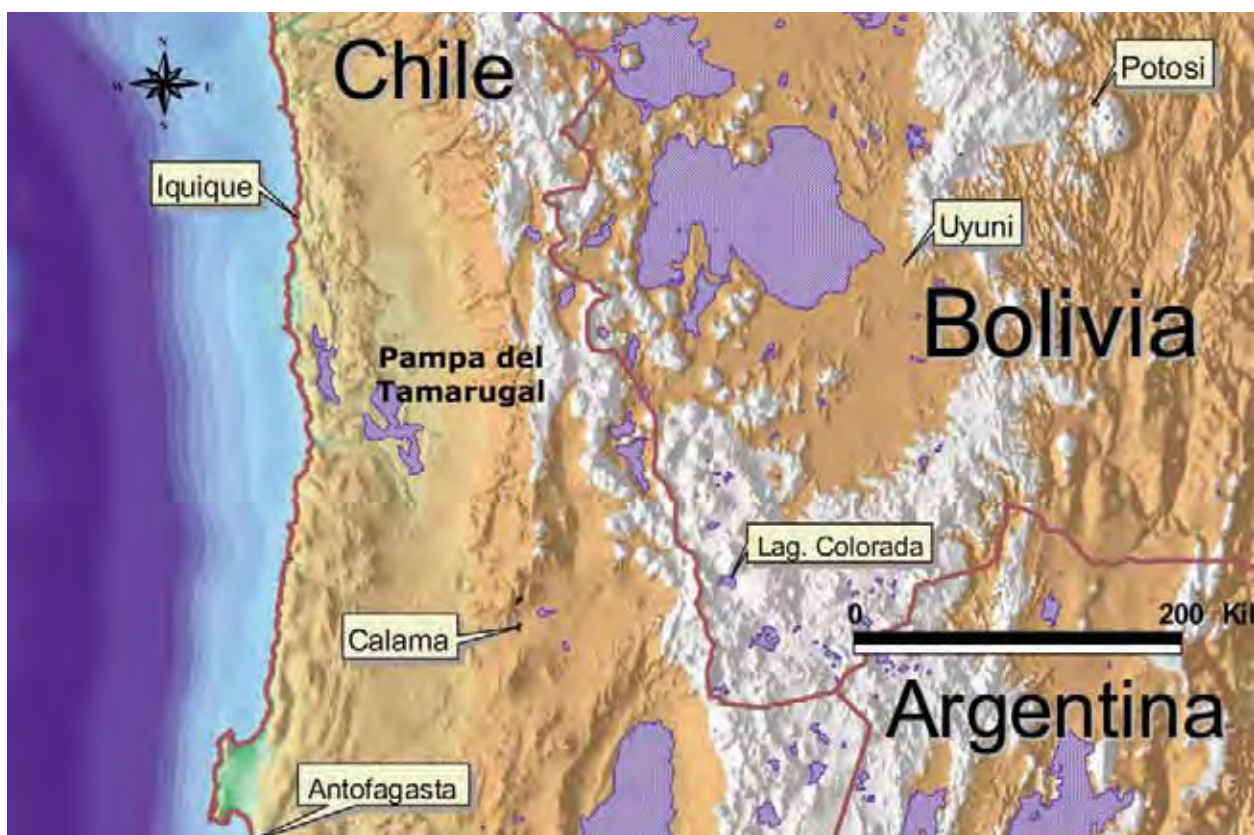
Figura 1.1: Ubicación de la zona de estudio



La parte norte y central del Altiplano está conformada por las cuencas del lago Titicaca, del río Desaguadero, del lago Poopó y el salar de Coipasa. La zona de interés ocupa la parte sur (figura 1.1), que corresponde a la cuenca del salar de Uyuni y varios salares y lagunas menores que se extienden más al sur (ver figura 2). El salar de Uyuni (10,000 km² de superficie) ocupa una depresión que representa el punto más bajo del Altiplano, a 3660 m. Como el terreno se eleva al sur, el flujo predominante del agua es sur-norte, como es el caso del río Grande de Lípez, el principal de la región.

La Cordillera Occidental, como la cordillera de Los Andes en general, es resultado de la subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa continental sudamericana. La Cordillera Occidental, esencialmente volcánica, está compuesta de rocas de diferentes edades con depósitos de lavas e ignimbritas. Entre el mar y la Cordillera Occidental, en el actual territorio chileno, se observan cuatro unidades geológicas (ver figura 1.2): la cordillera costera, el valle central entre los 1000 y 2000 m, la cordillera de Domeyko y los valles situados al pie de la Cordillera Occidental, entre los que se encuentra la cuenca del Salar de Atacama y varias cuencas menores cuya depresión central es frecuentemente ocupada por un salar o laguna salada. En el área de interés, el valle central se conoce con el nombre de Pampa del Tamarugal. La figura 1.2 muestra el relieve regional, donde el tono gris/blanco indica altitudes por encima de los 4000 m, el tono verde por debajo de los 500 m y las diferentes gradaciones de café altitudes entre 500 y 4000 m.

Figura 1.2: Relieve y altitud en el área de estudio



Una característica de la región es la presencia de grandes salares y lagos salados, que son remanentes de antiguos sistemas lacustres. El nivel y superficie de esos lagos ha variado grandemente durante los últimos 200,000 años, lo que se asocia ante todo a cambios temporales de la precipitación y temperatura (ver capítulo de Clima en este informe). Al ser predominantemente árida, la región es particularmente sensible a esos cambios. Actualmente no existen glaciares al sur del salar de Uyuni hasta los 27° S, lo que también es atribuible a la aridez. Sin embargo, los glaciares ocuparon grandes extensiones en el pasado reciente.

El Altiplano sur es la región que recibe las precipitaciones más bajas de Bolivia, con valores menores a 200 mm/año, que disminuyen hacia la cordillera occidental y la frontera con Chile. En el sector chileno, todas las áreas por debajo de los 3000 msnm forman parte de una de las regiones más secas de la tierra, donde llueve menos de 10 mm/año y en algunos casos virtualmente cero. La presión sobre los escasos recursos hídricos existentes proviene sobre todo de la minería, que es la principal actividad económica de la región.

2. POBLACIÓN Y ACTIVIDAD ECONOMICA

2.1 Bolivia

La zona de estudio ocupa un área importante del departamento de Potosí en Bolivia y de la II Región de Antofagasta en Chile, así como una parte más pequeña de la I región de Tarapacá. El departamento de Potosí tiene una superficie de 118,218 kilómetros cuadrados. Las cinco provincias del Sudoeste (ver figura 2.1) son Daniel Campos, Antonio Quijarro, Enrique Baldivieso, Nor Lipez y Sur Lipez.

Figura 2.1: Las cinco provincias del Sudoeste de Potosí



Las cinco provincias representan el 62% de la superficie del departamento de Potosí. La población estimada al 2006 es de 64,212 habitantes (Olivera et al, 2006). El centro poblado más importante es la ciudad de Uyuni (17,000 habitantes). La tabla 2.1 muestra la población, densidad poblacional y algunos índices de desarrollo humano por provincia y sección. La densidad poblacional de las cinco provincias es menor a 1 hab/km², mucho más baja que el resto del departamento de Potosí y que el promedio nacional. Por otro lado, los índices de salud y desarrollo humano están por encima de la media de Potosí y por debajo de la media de Bolivia.

Las actividades que ocupan un mayor porcentaje de la población económicamente activa en el Sudoeste de Potosí son el cultivo de la quinua y la cría de ganado camélido y ovino. La tabla 2.2 muestra la superficie cultivada por municipio y el número de cabeza de ganado por provincia. Las llamas forman más del 99% de los camélidos, cuya cría, especialmente en Sur Lipez, es altamente dependiente de los bofedales, que son humedales altoandinos que a su vez dependen de la presencia de fuentes de agua permanente, superficial o subterránea. Otras fuentes (UNEP/CA, 1997) estiman una población de llamas considerablemente mayor: 447,000 cabezas.

Otras actividades de creciente importancia son el turismo y la minería. El ingreso de turistas a la Reserva Eduardo Avaroa, situada en el extremo suroeste, se ha quintuplicado en el periodo 1996-2006. El año 2005 se registraron 51271 visitantes. Se estima que la tasa de crecimiento en los siguientes años se establezca alrededor del 10-20% (Olivera et al, 2006). La región cuenta con múltiples atractivos turísticos, como el Salar de Uyuni, las lagunas y fauna altoandinas, las espectaculares formaciones geológicas y fuentes hidrotermales de la región.

Tabla 2.1: Población e índices de desarrollo humano del Sudoeste de Potosí

PROVINCIA Y SECCION MUNICIPAL	Población 2006 est.	Densidad Población hab/km ²	Esperanza de vida años	Tasa de Alfabetismo	IDH
BOLIVIA	9627269		63.3	86.7	0.641
POTOSI	772578		55.2	64.5	0.460
Nor Lipez	12171	0.5			
Primera Sección-Colcha "K"	11174		57.0	87.2	0.539
Segunda Sección-San Pedro de Quemes	997		61.8	92.7	0.580
Sud Lipez	5522	0.4			
Primera Sección -San Pablo de Lipez	2697		53.4	83.2	0.483
Segunda Sección-Mojinete	721		51.8	81.5	0.472
Tercera Sección-San Antonio de Esmoruco	2104		59.1	81.8	1.474
Antonio Quijarro	39126	2.3			
Primera Sección-Uyuni	18999		61.8	86.9	0.627
Segunda Sección-Tomave	13800		55.6	74.3	0.490
Tercera Sección-Porco	6327		60.7	82.6	0.571
Daniel Campos	5490	0.3			
Primera Sección-Llica	2822		62.4	96.8	0.620
Segunda Sección-Tahua	2668		55.4	92.0	0.526
Enrique Baldivieso	1690	0.8			
Primera Sección-San Agustín	1690		58.5	87.7	0.527
SUDOESTE DE POTOSI	64212	0.9	58.0	86.0	0.537

IDH=Índice de desarrollo humano

Fuente: Olivera (2006) en base a PNUD e INE

Tabla 2.2: Agricultura y ganadería en el Sudoeste de Potosí

PROVINCIA MUNICIPIO	Agricultura					Ganadería		
	Cultivable Has	Riego Has	Secano Has	Cultivada Has	Descanso Has	Camélidos	Ovinos	Otros
Nor Lípez	14474	364	4378	4742	9732	68415	52885	7624
Colcha "K"	12881	343	3890	4233	8648			
San Pedro de Quemes	1593	21	488	509	1084			
Sud Lípez	289	200	69	269	20	42260	2318	1121
San Pablo de Lípez	35	9	26	35	0			
Mojinete	151	123	14	137	14			
S. de Esmoruco	103	68	29	97	6			
Antonio Quijarro	14950	1041	10481	11521	13744	128344	14887	69307
Uyuni	8362	184	8179	8362	0			
Tomave	5442	282	2065	2347	3096			
Porco	1146	575	237	812	10648			
Daniel Campos	4842	478	7243	7720	8417	23263	977	502
Llica	1255	325	5396	5721	6829			
Tahua	3587	153	1847	1999	1588			
E. Baldivieso	4004	22	1026	1048	2956	9100	7	1900
San Agustín	4004	22	1026	1048	2956			
Total	60169	2103	23198	253	34869	271382	241705	80454

Fuente: Olivera (2006) en base a Planes de Desarrollo Municipal

El Sudoeste de Potosí cuenta con importantes reservas de minerales, tanto metálicos como no metálicos. Alberga los más grandes depósitos de antimonio de Bolivia, además de yacimientos metálicos politermales. El año 2007 entrará en operación el proyecto minero de San Cristóbal, el más grande desarrollado en Bolivia en los últimos años. Las reservas probadas y probables de San Cristóbal se estiman en 446 millones de onzas de plata, 3.45 millones de toneladas de zinc y 1.27 millones de toneladas de plomo.

La abundancia de recursos minerales no metálicos está asociada al vulcanismo de la Cordillera Occidental y la existencia de enormes depósitos evaporíticos, entre los que se cuenta el más grande del mundo: el Salar de Uyuni. Este salar contiene la mayor parte de las reservas de litio del planeta, así como gran parte de las de boro. En la región se explotan actualmente sobre todo la sal, la ulexita (boro) y el sulfato de sodio. Se conocen también yacimientos de rocas industriales y ornamentales, como el travertino y la diorita (Kempff, 2006).

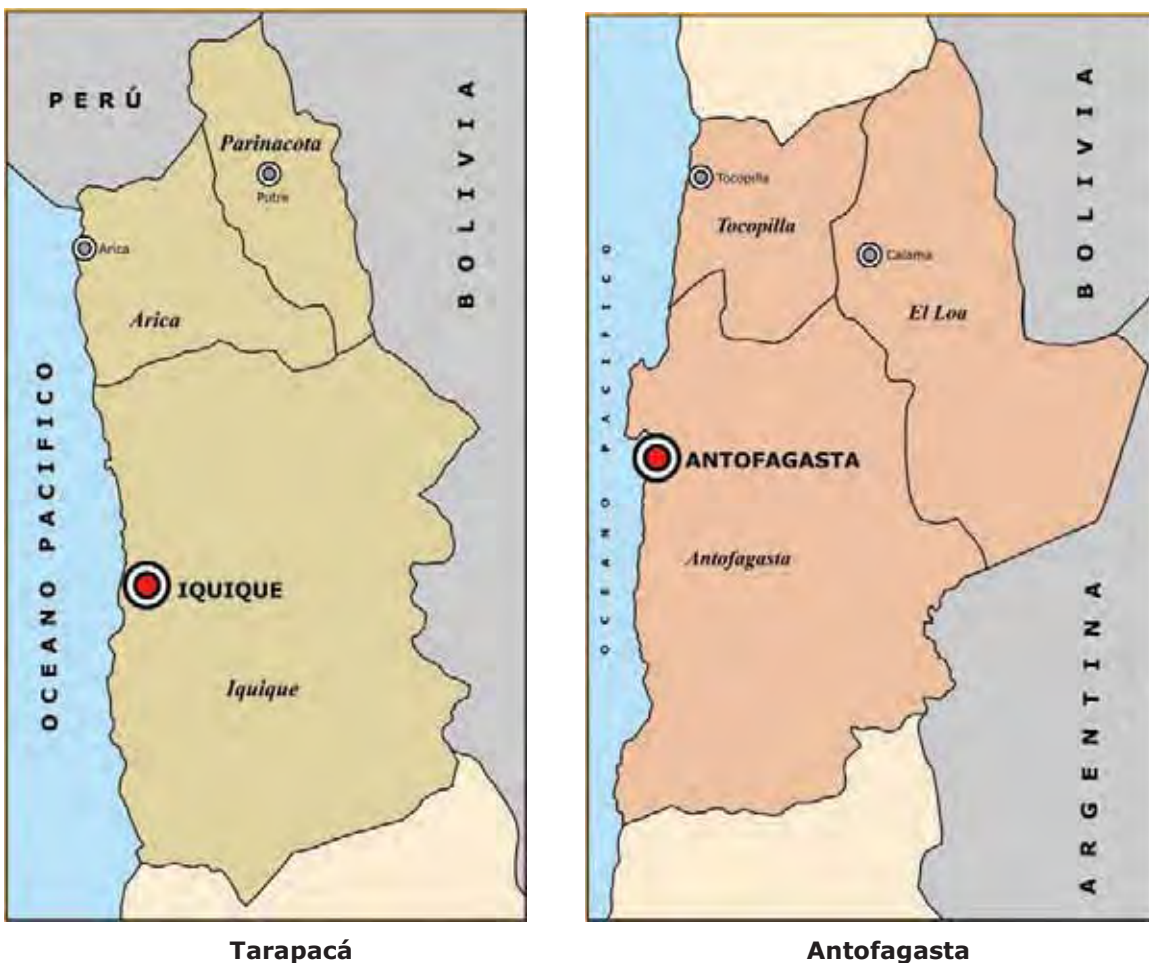
2.2 Chile

La Región de Antofagasta tiene una superficie de 126,444 km², 410,724 habitantes (2004) y una densidad poblacional de 3.2 hab/km². Por superficie es la más grande de Chile y está dividida administrativamente en tres provincias: Tocopilla, El Loa y Antofagasta (figura 2.2). La Región de Tarapacá tiene una superficie de 56,698 km², 339,579 habitantes y una densidad de 5.8 hab/km². Su capital es Iquique y tiene tres provincias: Arica, Parinacota e Iquique. La figura 2.3 muestra la población urbana y rural (en verde) en la Segunda Región de Antofagasta, por municipio.

Toda la actividad económica de la Segunda Región gira alrededor de la minería. Históricamente, la Segunda Región ha sido la más importante plaza minera de Chile, "bendecida por

una suerte de fertilidad mineral que hace florecer de negocios el desierto más árido del planeta". "Antofagasta ocupa el primer lugar, excluyendo a la capital del país, en el ranking general de competitividad de regiones 2001. Su PIB (Producto Interno Bruto) per capita refleja su sobresaliente rendimiento económico. Dobla el promedio chileno, es tres veces el promedio de los países latinoamericanos; casi la mitad del PIB per cápita de Hong Kong, Alemania, Francia y EEUU, sólo marginalmente inferior a España y Taiwán (Base 1997, Corfo, Dirección Regional Segunda Región). La Región exhibe la más alta tasa y frecuencia de capacitación. Su índice de escolaridad y su tasa de productividad media laboral son significativamente superiores al promedio nacional. Su histórica vocación minera (ver recuadro) ha dado lugar a un capital humano, técnico y profesional de altísima calidad, apreciado a nivel mundial" (www.clusterminero.cl).

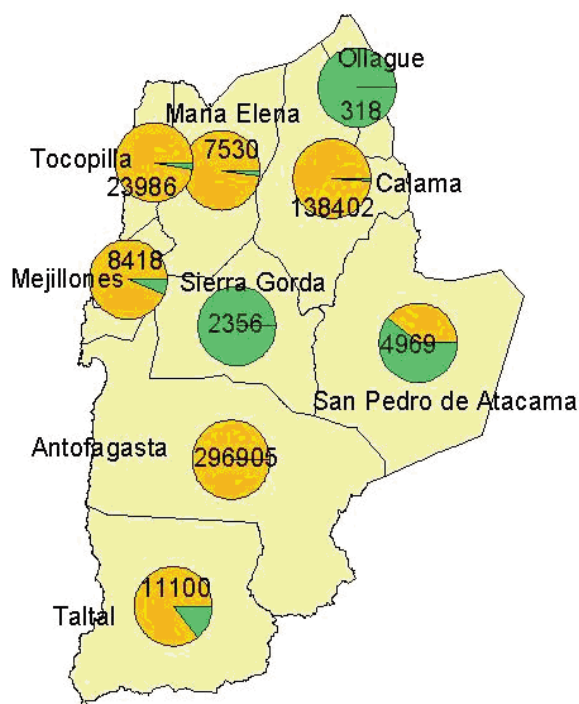
Figura 2.2: Mapa político de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta



Cerca del 60% de las exportaciones mineras de Chile provienen de la Región de Antofagasta. El principal producto minero de exportación es el cobre. Más del 90% de la producción de cobre proviene de esa Región y de un sector próximo de la Región de Tarapacá. Chile contaba en el año 2004 con el 39% de todas las reservas conocidas en el planeta. Entre 1990 y 2004, la participación chilena en el total de cobre producido a nivel mundial subió de un 17%

a un 38%. El crecimiento de la industria minera chilena se asocia a los altos precios del cobre, atribuidos al aumento de la demanda de Asia, así como a un entorno favorable a la inversión. El alto precio del cobre hizo posible que los ingresos por exportaciones de cobre aumentarán un 22 por ciento el 2005 respecto del 2004, al totalizar 17,763 millones de dólares, que representan más del 40% del valor total de las exportaciones de Chile.

Figura 2.3: Población urbana y rural de la Región de Antofagasta, por municipio



Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

La importancia histórica de la minería del Norte de Chile

El primer ciclo minero en Chile estuvo ligado a la explotación de cobre y plata del Norte Chico, en el siglo XIX. Los ingresos provenientes del primer ciclo sentarán las bases para un segundo hacia 1850, el del salitre. El descubrimiento de nuevos yacimientos de salitre internacionalizó aún más la minería chilena con el "boom" de Caracoles, que si bien se encontraba en territorio boliviano, era explotado por chilenos. Las bases ya enunciadas entrarían en escena tras la guerra del Pacífico, centralizando la economía chilena en la explotación del salitre durante los próximos 50 años (1880-1930).

Las principales características del salitre, que determinaban su creciente demanda y precio, tenían que ver con condiciones geopolíticas y económicas que se perfilaban en el mundo durante el siglo XIX. El nitrato era el insumo clave para la fabricación de explosivos y el fertilizante de esos años era el salitre. Al tiempo que se generaban estas extraordinarias condiciones que aseguraban una demanda constante de nitrato, Chile salía victorioso de la Guerra del Pacífico.

Los grandes yacimientos salitreros de las provincias de Tarapacá y Antofagasta, que ya habían sido explotados por capitales chilenos en la década del 60, tenían además dos importantes ventajas comparativas: primero, grandes depósitos con alto contenido de nitrato; y segundo, una distancia al mar de no más de 80 kilómetros. Chile se transformó en el mayor productor de nitrato del mundo. Entre 1880 y 1930 las exportaciones salitreras constituyeron el área más importante de la economía chilena. Como porcentaje de las exportaciones, los primeros años de explotación significaron un 40% de las exportaciones totales del país, para llegar a constituir un 70% en plena I Guerra Mundial. La contribución al PIB fluctuó alrededor del 30% durante el período 1900–1920 y constituía casi el 50% de los impuestos totales entre 1895 y 1920.

Las cifras macroeconómicas de la época muestran cómo el Estado chileno retuvo una parte importante de los excedentes generados por el salitre y que éste fue utilizado para financiar infraestructura social y física. El auge de las exportaciones salitreras dio un fuerte impulso al sector externo chileno, transformándolo en el motor del crecimiento y generando dos cambios estructurales fundamentales en la economía chilena: primero, los inversionistas extranjeros llegaron a ser agentes importantes, principalmente en el sector minero exportador; segundo, a pesar del *laissez-faire* predominante, el gobierno comenzó a adquirir un papel cada vez más protagónico en la economía.

Con la declinación del salitre y la llegada de los capitales norteamericanos a la Gran Minería del Cobre a contar de los primeros años del siglo XX, Chile comenzará a generar recursos que dieron un impulso adicional a la conformación de la nueva estructura social chilena, en un proceso que se extendería hasta casi fines de la centuria y que posibilitó la maduración de la identidad minera del país desde la "viga maestra" o el "sueldo de Chile", como bautizaron al metal rojo dos sucesivos mandatarios. Al igual que el salitre, los grandes yacimientos de cobre están situados en el norte, en las regiones de Antofagasta y Tarapacá.

El auge y desarrollo del cobre comparte características similares con el salitre, pero su impacto en la economía está determinado por una gran diferencia. El cobre, hasta muy entrado el siglo XX, no tuvo la importancia económica relativa del salitre. El verdadero boom de la industria cuprera estuvo determinado por un brusco aumento de la demanda mundial, debido a la aparición de la industria eléctrica, la expansión del sector de la construcción y una importante innovación tecnológica en Estados Unidos, que hizo rentable la explotación en gran escala de minerales con bajo contenido de cobre (1-2%).

Aunque en las décadas de los años 70 y 80 se produjo en el país un cambio económico que potenció nuevos sectores exportadores, aprovechando las ventajas comparativas naturales que Chile tenía en áreas como la industria forestal, pesquera y frutícola, es evidente que la minería continuó –y continúa siendo– una llave maestra para el desarrollo chileno, hecho que, por lo demás, se sigue expresando en el alto porcentaje que la minería representa en el conjunto de las ventas externas. El desarrollo minero del cobre ha sido especialmente importante –espectacular para muchos– a partir de los 90s.

Los especialistas coinciden, además, que su papel para los próximos años será también sustantivo, tanto en lo referido a la minería del cobre, como en otras áreas metálicas y no metálicas emergentes, vinculadas a las nuevas tecnologías y nuevos materiales que acompañarán el desarrollo humano del siglo XXI.

Basado en www.consejominero.cl

El 98% del cobre, 80% del oro y la plata y 100% del molibdeno producido en el país proviene de la Gran Minería. Un conjunto reducido de grandes empresas, estatales y privadas, es responsable de esa producción. La gran mayoría de las minas se ubica en el Norte chileno, en lugares próximos a la frontera con Bolivia (ver figura 2.4).

Figura 2.4: Minas del clúster minero en la Región de Antofagasta



Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

Las grandes empresas mineras productoras de cobre y oro en el norte de Chile incluyen a CODELCO, mayor productor mundial de cobre, a las transnacionales Anaconda Chile, propiedad del grupo económico Luksic, uno de los mayores de Chile y a Cominor. También operan en Chile, entre otras: BHP-Billiton, de Australia-Inglaterra; Anglo American de Sud África; Noranda, Falconbridge, Cominco-TEC, Placer Dome, Barrick Gold, Dayton Developments y Aur Resources, de Canadá; Phelps Dodge y Cour D'Alene, de Estados Unidos; Rio Tinto, de Inglaterra; Sumitomo y Mitsubishi, de Japón y Outokumpu, de Finlandia. Empresas de importancia que producen otros minerales, fuera de oro y cobre, son Soquimich, empresa chilena que produce litio, nitratos y yodo, y la Compañía Minera del Pacífico, de capitales chilenos y japoneses, que produce hierro.

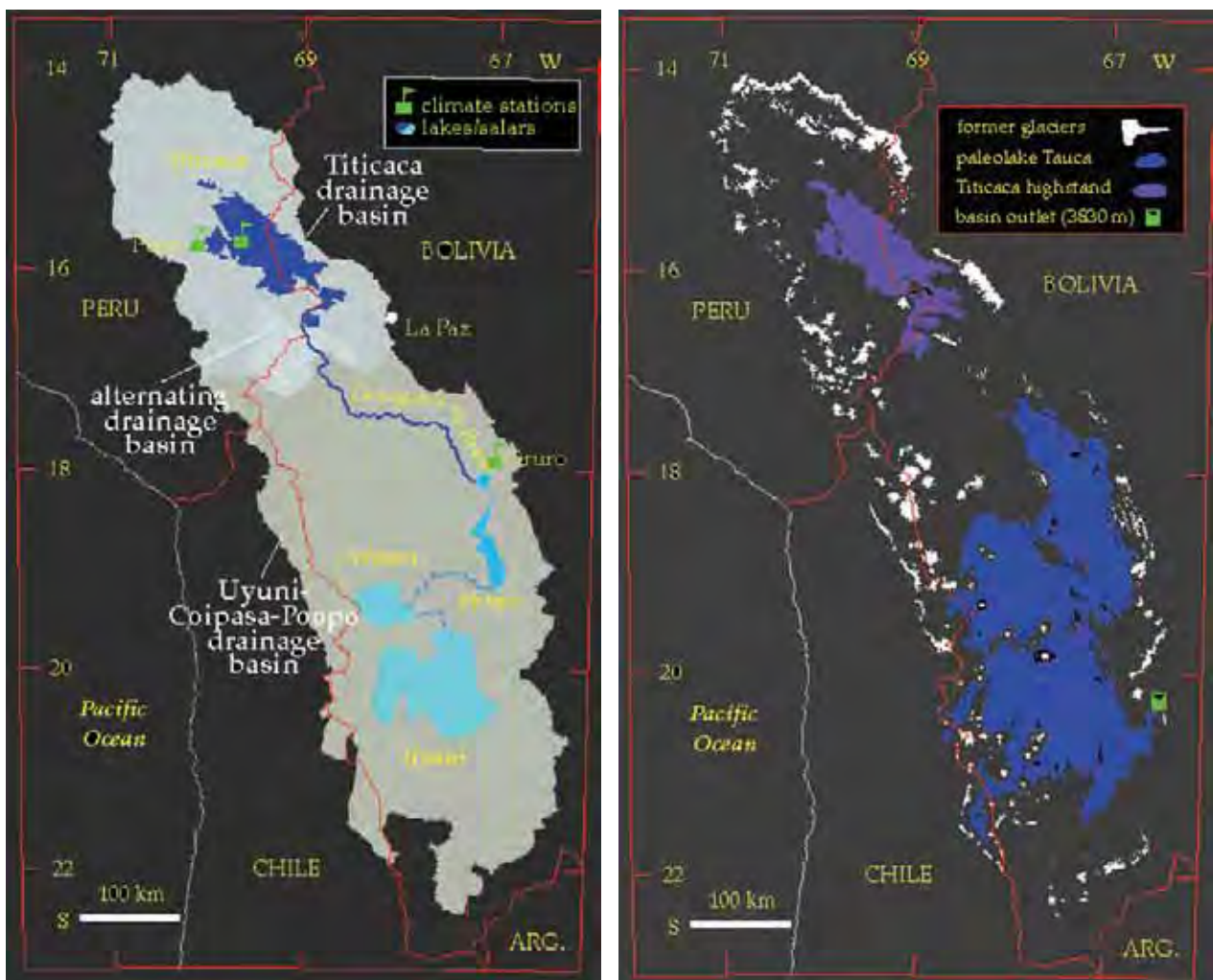
3. CLIMA

La disponibilidad de recursos hídricos de una región está ante todo determinada por sus características climáticas, empezando por la variación en tiempo y espacio de la precipitación. El conocimiento del clima de una región es por tanto importante para una planificación adecuada y uso racional de sus recursos naturales, ya que la vegetación, los suelos y el régimen hidrológico están condicionados de manera significativa por los factores climáticos.

El área de estudio combina un clima árido con la existencia de importantes recursos hídricos, especialmente en el Altiplano boliviano, lo que está relacionado con el clima del pasado, que se describe a continuación.

3.1 El clima del pasado

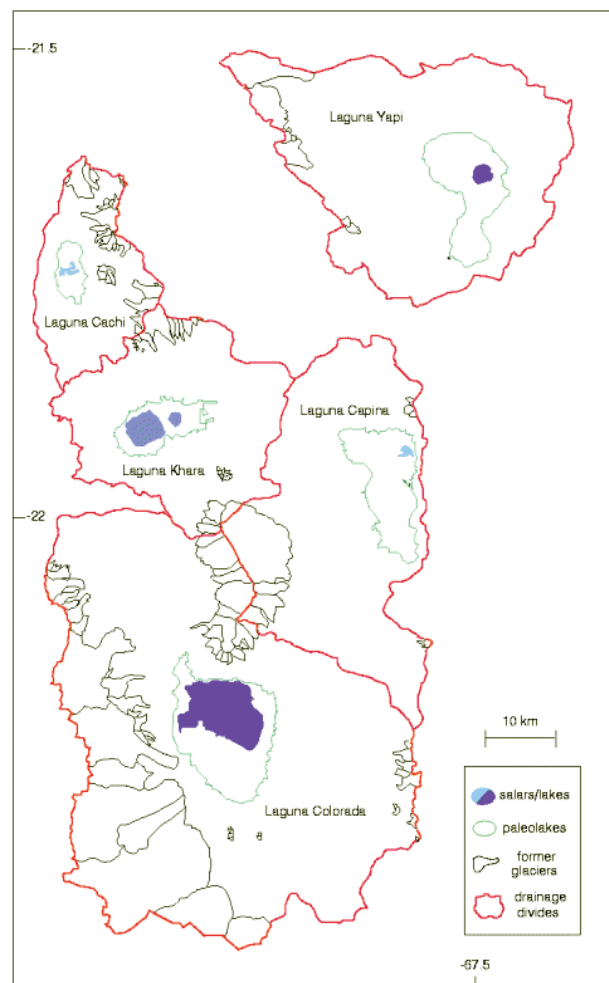
Figura 3.1: El Altiplano en la actualidad y durante la fase Tauca



Fuente: Blodgett et al (1997)

Grandes cambios climáticos e hidrológicos ocurrieron en la cuenca del Altiplano durante el periodo Cuaternario. Desde hace más de un siglo se conoce de la existencia de grandes lagos en el Altiplano en épocas pasadas, de superficie mucho mayor que los lagos actuales. Durante el periodo comprendido entre 26,000-13,000 años AP (antes del presente), en la parte sur del Altiplano se formó un gran paleolago (lago antiguo) denominado Tauca, que unía a los actuales salares de Uyuni y Coipasa con el lago Poopó, además de varios lagos y salares mas pequeños. La figura 3.1 muestra la cuenca del Altiplano en la actualidad (a la izquierda) y al final de la fase Tauca (a la derecha). La figura 3.2 muestra la probable extensión máxima que alcanzaron algunas de las lagunas más pequeñas del Sudoeste de Potosí.

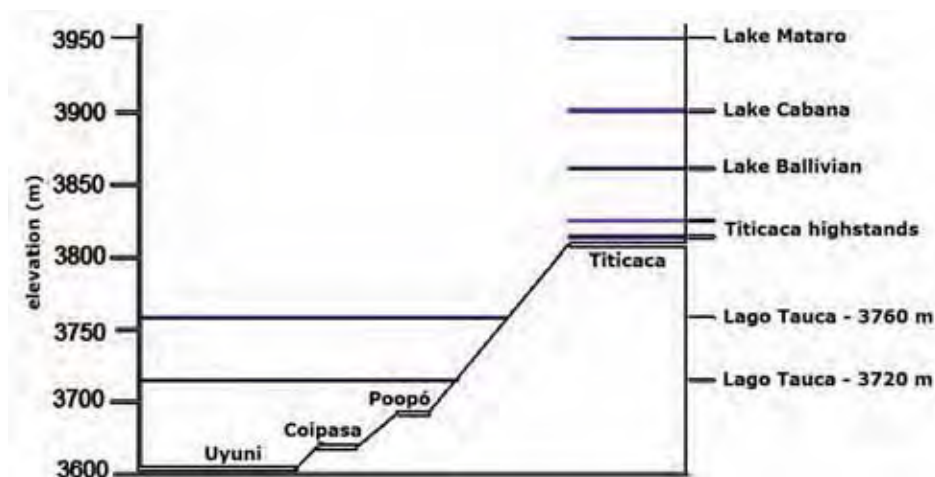
Figura 3.2: Lagunas del Sudoeste de Potosí durante la fase Tauca



Fuente: Blodgett et al (1997)

La figura 3.3 muestra los niveles alcanzados por el lago Tauca en el Altiplano Sur. Se estima que el nivel máximo de 3760 m se alcanzó 13,800 años AP (Blodgett et al, 1997). *Este nivel esta 100 m por encima del nivel actual del Salar de Uyuni.* Los otros niveles (lagos Mataro, Cabana, Ballivián) que se observan en la figura 2.7 corresponden al Altiplano Norte (lago Titicaca) y a periodos más antiguos. En el Altiplano Sur existieron otros paleolagos anteriores al Tauca, como el de la fase Minchin (35,000-70,000 años AP).

Figura 3.3: Niveles alcanzados por el lago Tauca



Fuente: Blodgett et al (1997)

La fase Tauca coincidió con el Último Máximo Glacial (UMG), entre 19,000-21,000 años AP, cuando la superficie cubierta por hielo y glaciares alcanzó su valor máximo en todo el planeta (Ammann et al, 2001). Ese periodo es generalmente considerado frío y seco. Se estima que la temperatura media se redujo entre 4.5 y 6.5 °C en el ecuador (Broecker y Denton, 1989) y probablemente más de 8° C en las montañas altas.

Las teorías que intentan explicar la enorme extensión alcanzada por el lago Tauca se pueden agrupar en dos tipos: la hipótesis "fría", basada en la reducción de temperatura que se produjo en ese periodo glacial y la hipótesis "húmeda" que asume que el lago Tauca se formó ante todo por el incremento de las lluvias (precipitación). Los partidarios de la primera explican que la reducción de temperatura durante el último periodo glacial provocó a su vez una disminución de la evaporación, al haber menor cantidad de energía evaporante. Los partidarios de la hipótesis húmeda explican que una disminución de la temperatura no es suficiente para explicar la gran extensión y volumen que alcanzaron lagos y glaciares al final de la fase Tauca. En apoyo de esta hipótesis mencionan que debido a la aridez del clima, en la actualidad no hay glaciares entre los 20° y 27° S, incluso en los picos más altos por encima de los 6000 m, donde la temperatura se mantiene siempre por debajo de 0 °C.

Sin embargo, la gran mayoría de los investigadores coinciden en que al final del Pleistoceno, alrededor de 13500 años AP, se produjo un periodo húmedo (y probablemente menos frío), que coincidió con el máximo nivel (3760 m) del lago Tauca y con el máximo avance de los glaciares andinos. Según diferentes autores, las lluvias en ese periodo debieron ser entre un 20 y 85% más altas que las actuales. Aplicando modelos de balance hídrico, Clayton y Clapperton (1997) estimaron que la precipitación llegó hasta 600 mm/año al norte del lago Poopó y a 300-350 mm/año en los alrededores del salar de Uyuni. Ammann et al (2001) mencionan evidencias de que hace 13,000 años la estacionalidad de las lluvias en el Altiplano era más o menos la misma que en la actualidad, cuando la mayor parte de la precipitación cae en forma de fuertes lluvias convectivas durante el verano (diciembre-marzo). La diferencia es que hace 13,000 años las lluvias de verano eran más intensas. Parte del crecimiento del lago Tauca probablemente se debió a aportes del lago Titicaca, mucho más grandes que los actuales.

La mayor precipitación y la existencia de grandes lagos al final de la fase Tauca significa que muy probablemente hubo una muy importante recarga de los acuíferos del Altiplano en esa época. A ese periodo húmedo siguió uno seco (se estima precipitaciones 40% inferiores a las actuales) y cálido, entre 10,500 y 7,000 años AP, que produjo una gran reducción de la superficie y volumen de los lagos andinos. Alrededor de 6250 años AP el nivel del lago Titicaca descendió hasta 85 metros por debajo del nivel actual (Rowe et al, 2002) y el lago Poopó se convirtió en un salar. A continuación siguió un periodo climáticamente inestable (el Holoceno medio), con alternancia de episodios húmedos y secos. Entre 5000 y 4000 años AP se observa un periodo húmedo en que el lago Titicaca recuperó rápidamente su nivel (y una muy probable recarga de muchos acuíferos), seguido por un periodo entre 4000 y 2000 años AP en que la recuperación fue más lenta. Desde hace 2000 años y hasta el presente han predominado condiciones climáticas más estables y el nivel del lago Titicaca no parece haber variado en más de 12 m respecto a los niveles actuales.

3.2 El clima actual

Las lluvias

El régimen hidrológico está ante todo determinado por la variación en tiempo y espacio de la precipitación, que a su vez está fuertemente influenciada por la circulación atmosférica, tanto global como regional. En el Altiplano las lluvias son de origen atlántico-amazónico. Debido a la barrera que representa la Cordillera Oriental a los vientos alisios cargados de humedad, las regiones situadas al oeste de la cadena montañosa, como el Altiplano y algunos valles interandinos, reciben mucha menos lluvia que la planicie amazónica y los valles nororientales. Los estudios de Chaffaut (1998) usando análisis de isotópos confirman el origen atlántico de la precipitación en el Altiplano. Al mismo tiempo se encontró que en el sector chileno al oeste de la cordillera Occidental, la mayor parte de la precipitación tiene su origen en el océano Pacífico.

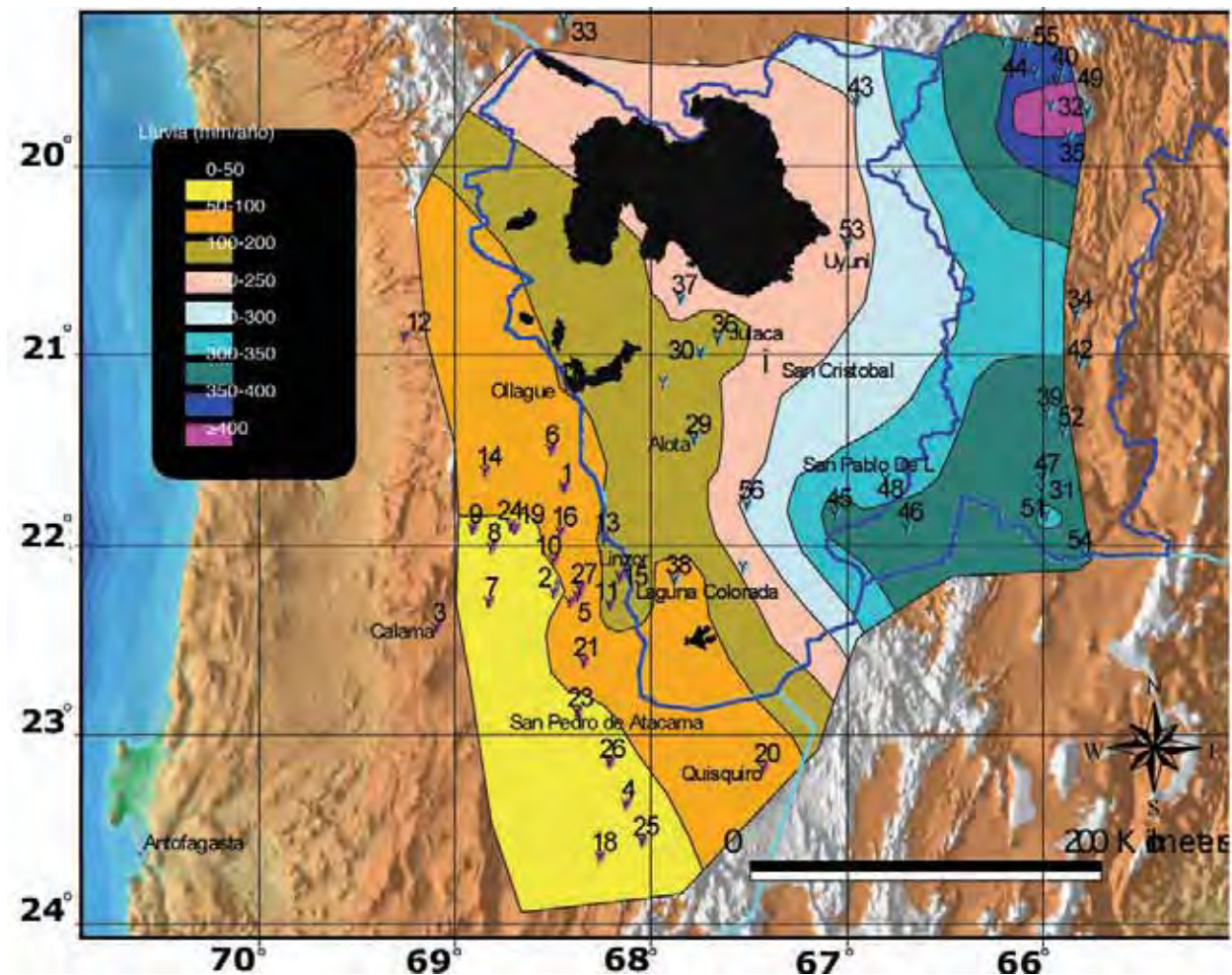
El comportamiento estacional de las lluvias muestra que durante el verano (diciembre-marzo), el aire húmedo proveniente de la Amazonía ingresa al Altiplano y se descarga en

forma de lluvias convectivas. Los valores máximos de precipitación se producen en el Altiplano Norte y se reducen gradualmente hacia el Sur, hasta casi desaparecer por debajo de los 23° S. Durante el invierno, en la región de estudio predominan vientos del oeste, muy secos (sin vapor precipitable). Estas condiciones son ocasionalmente interrumpidas por la irrupción de frentes fríos provenientes del sur, que provocan nevadas y lluvias invernales.

Para estudiar la precipitación y otras variables climáticas se contó con datos de SENAMHI en Bolivia y datos presentados por Chaffaut (1998) para Chile, cuyo origen es la red de la DGA.

La figura 3.4 muestra el mapa de precipitación anual en toda la región en forma de franjas limitadas por isoyetas o líneas de igual precipitación. Se incluyen los números correspondientes a cada estación de la tabla 3.1, algunos nombres de poblaciones, así como el proyecto minero San Cristóbal. Para elaborar el mapa se usó los datos de la tabla 3.1 para el periodo 1979-96, que se aproximan a los valores promedio de las estaciones de registro largo. La línea azul es la divisoria entre la cuenca del Altiplano y la del río Pilcomayo.

Figura 3.4: Mapa de precipitación anual en la región de estudio



Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.1 es un listado de las estaciones meteorológicas, su ubicación geográfica, altitud y precipitación media anual durante el periodo 1979-96. Mediante el método del vector regional se evaluó la calidad de los datos y se corrigió los datos erróneos o inconsistentes. Algunas estaciones bolivianas, como Quetena Chico, presentaban datos tan inconsistentes que tuvieron que ser descartados. El método permite estimar la precipitación media en una estación aun cuando los registros no sean completos. Para ello se compara esa estación con el "índice" que representa el comportamiento regional.

Tabla 3.1: Ubicación y precipitación media 79-96 en estaciones meteorológicas

No	ESTACION	LATITUD °	LONGITUD °	ALTITUD (m)	Pmed 79-96 (mm)
Chile					
1	Ascotan	-21.7333	-68.2667	3956	86
2	Ayquina	-22.2833	-68.3167	3031	30
3	Calama	-22.4667	-68.9167	2260	4
4	Camar	-23.4000	-67.9500	2800	40
5	Caspana	-22.3333	-68.2333	3260	56
6	Cebollar	-21.5333	-68.3333	3730	53
7	Chiu Chiu	-22.3333	-68.6500	2524	4
8	Conchi Embalse	-22.0500	-68.6333	3010	19
9	Conchi Viejo	-21.9500	-68.7333	3491	32
10	Cupo	-22.1167	-68.3167	3400	65
11	El Tatio	-22.3500	-68.0333	4320	135
12	Huatacondo	-20.9333	-69.0833	2460	22
13	Incaliri	-22.0000	-68.0667	4100	102
14	Lequena	-21.6500	-68.6667	3320	146
15	Linzor	-22.2000	-67.9833	4096	131
16	Ojos de San Pedro	-21.9667	-68.2833	3800	75
17	Ollague	-21.2000	-68.2500	3650	102
18	Paine	-23.6833	-68.0833	2480	24
19	Parshall 2	-21.9500	-68.5167	3318	27
20	Quisquiro	-23.2100	-67.2500	4250	67
21	Rio Grande	-22.6500	-68.1667	3250	87
22	Salado Embalse	-22.3000	-68.2000	3200	58
23	San Pedro de Atacama	-22.9167	-68.2000	2450	28
24	San Pedro de Conchi	-21.9333	-68.5333	3217	31
25	Socaire	-23.6000	-67.8667	3251	44
26	Toconao	-23.1833	-68.0333	2430	38
27	Toconce	-22.2667	-68.1833	3350	78
28	Turi	-22.2333	-68.3000	3053	31
Bolivia					
29	Alota	-21.4736	-67.5990	3609	121
30	Calcha de Lipez	-21.0208	-67.5670	3670	156
31	Chagua	-21.8753	-65.8038	3400	286
32	Challviri	-19.7154	-65.7824	4515	515
33	Coipasa	-19.2667	-68.2667	3680	214
34	Cotagaita	-20.8141	-65.6523	2620	272
35	Cucho Ingenio	-19.8776	-65.6937	3700	371
36	Julaca	-20.9494	-67.4778	3665	119
37	Kolcha K	-20.7367	-67.6682	3780	165
38	Laguna Colorada	-22.2203	-67.7017	4278	75
39	Oploca	-21.3338	-65.8034	3121	328

No	ESTACION	LATITUD °	LONGITUD °	ALTITUD (m)	Pmed 79-96 (mm)
40	Potosi AASANA (Aeropuerto)	-19.5346	-65.7319	4100	341
41	Potosi SENAMHI (Los Pinos)	-19.5870	-65.7519	3860	399
42	Ramadas	-21.0830	-65.6331	3220	301
43	Rio Mulatos	-19.6930	-66.7738	3815	195
44	Salinas de Yocalla	-19.3813	-66.0206	3510	346
45	San Antonio de Lipez	-21.8697	-66.8791	4500	322
46	San Antonio Esmoruco	-21.9420	-66.5193	3690	344
47	San José Pampa Grande	-21.6870	-65.8186	3200	331
48	San Pablo de Lipez	-21.6870	-66.6183	4230	264
49	Santa Lucía	-19.5508	-65.8641	3509	360
50	Talacocha	-19.7495	-65.5998	4450	493
51	Talina	-21.7501	-65.8255	3200	306
52	Tupiza	-21.4406	-65.7185	2592	295
53	Uyuni	-20.4536	-66.8183	3695	166
54	Villazón	-22.0870	-65.6019	3443	344
55	Yocalla	-19.3884	-65.9084	3420	379
56	Zoniquera	-21.8271	-67.3330	4073	205

La figura 3.4 y la tabla 3.1 muestran varias cosas importantes:

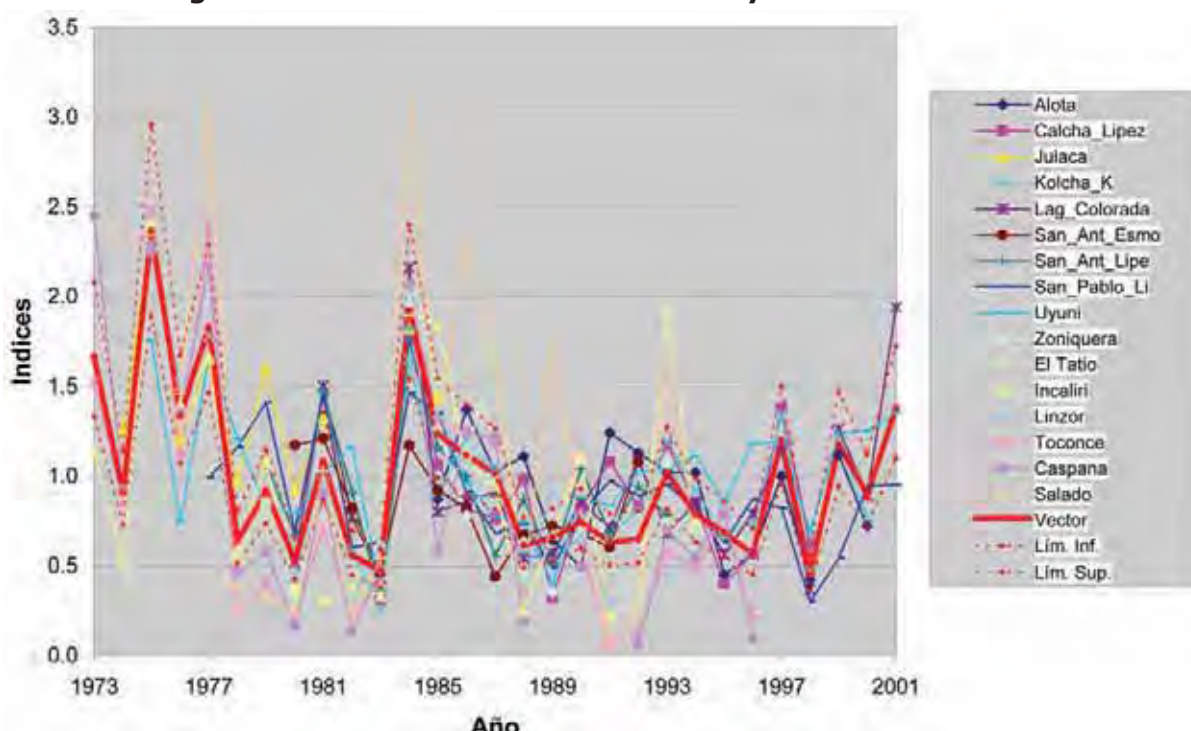
- La precipitación en casi toda la Segunda Región de Chile está por debajo de los 100 mm/año. Solo en el sector fronterizo próximo a la cordillera Occidental las lluvias se acercan a los 100 mm/año. Hacia la Pampa del Tamarugal al oeste y el salar de Atacama al sur, la lluvia decrece rápidamente. Por debajo de los 3000 m la precipitación es menor a 10 mm/año y alcanza valores muy próximos a cero en la Pampa y el desierto costero.
- Por contraste, casi todas las estaciones bolivianas registran lluvias promedio superiores a 100 mm/año, que aumentan en dirección al este. Solamente la estación de Laguna Colorada presenta una precipitación del orden de 75 mm/año. Este valor es algo más alto que el promedio anual (≈ 60 mm) obtenido por otros autores en base a datos no tratados. Es probable que la precipitación en Laguna Colorada sea incluso más alta, ya que cuando cae en forma de nieve no puede ser captada en su totalidad por un aparato registrador convencional (pluviómetro).
- Al oeste de Laguna Colorada se encuentran tres estaciones chilenas que registran lluvias superiores a 100 mm/año. Como consecuencia de todo lo anterior, la zona que recibe lluvias menores a 100 mm/año en Bolivia es más pequeña que la estimada en estudios previos. En territorio boliviano probablemente no existe ningún lugar que reciba menos de 50 mm/año.
- La zona que recibe lluvias menores a 200 mm/año es más ancha al norte, donde se extiende más allá de Uyuni. En cambio en Sur Lipez las lluvias aumentan rápidamente en dirección al este, hacia San Pablo de Lipez y San Antonio de Esmoruco. Esto probablemente tiene causas orográficas: los ramales occidental y oriental de la cordillera de los Andes se unen hacia el sur y el Altiplano se estrecha. En cambio, en Uyuni la planicie altiplánica es considerablemente más ancha (ver figura 1.2).

De forma general se puede decir que por debajo de los 100 mm/año, las precipitaciones son insuficientes para recargar los acuíferos locales o producir escurrimiento superficial. Con precipitaciones entre 100 y 200 mm/año el escurrimiento superficial y la recarga subterránea son débiles y ocasionales. Por encima de los 200 mm/año se observa que las precipitaciones producen flujo superficial y cabe esperar que exista una recarga más frecuente de los acuíferos locales. Este es el caso del sector sureste de los Lípez. Por el contrario, casi todo el sector chileno en la Región de Antofagasta recibe lluvias demasiado bajas para que los acuíferos locales puedan recibir recargas.

La figura 3.5 muestra el índice regional (línea gruesa de color rojo) y la precipitación relativa para el periodo 1972-2001 en las estaciones que registran una precipitación media anual superior a 50 mm/año. Un valor del índice igual a 1 significa que la precipitación del año corresponde aproximadamente al promedio del periodo. Es evidente la gran variación interanual de las lluvias. Hay años en que la precipitación regional estuvo 2.5 veces por encima del promedio y otros años en que no llegó al 50% del promedio del periodo. Es decir la precipitación de un año húmedo puede llegar a ser 5 veces superior (o más) que la de un año seco. Este comportamiento es propio de zonas áridas y se hace más marcado a medida que el clima es más seco. En el sector chileno, hay estaciones que no registran lluvias durante varios años.

La precipitación media del periodo 1972-2001 estuvo por encima del promedio. En particular, se observa en la figura 3.5 que durante la década del 70 se presentaron varios años muy húmedos. En cambio, entre los años 1988 y 1992, la precipitación estuvo por debajo del promedio. Aparte de la irregularidad propia de la región, no se identifican modificaciones en el comportamiento anual de la precipitación que pudiesen ser atribuibles a cambios climáticos.

Figura 3.5: Índices anuales del Vector y de las Estaciones



La tabla 3.2 muestra la precipitación media mensual y anual registrada/corregida en algunas estaciones chilenas y bolivianas. La estacionalidad es muy marcada. En las estaciones de la región de Antofagasta el 83% de las lluvias se produce en solo 3 meses entre enero y marzo y entre abril y noviembre la precipitación es prácticamente cero. En las estaciones bolivianas, el 93% de la precipitación cae en 4 meses entre diciembre y marzo.

Tabla 3.2: Precipitación mensual y anual en mm

Estación	Altitud	Periodo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANO
Chile															
ElTatio	4320	1977-97	48.3	35.9	27.6	0.7	3.6	4.4	0.7	2.5	2.5	0.7	1.1	11.9	139.9
Incaliri	4100	1969-97	46.6	40.5	17.6	2.0	1.9	1.0	0.3	1.2	2.2	0.9	1.3	7.1	122.6
Linzor	4096	1973-95	53.1	58.1	31.9	0.5	2.4	3.2	0.6	1.7	3.2	0.5	1.3	11.7	168.2
Cupo	3400	1978-97	24.7	14.5	10.9	0.0	0.4	1.9	0.0	0.5	0.3	0.3	0.0	1.4	54.9
Toconce	3350	1972-97	27.3	41.6	16.8	0.4	1.2	2.1	0.2	1.1	1.3	0.6	0.4	4.2	97.2
Caspana	3260	1971-97	25.6	32.6	14.5	0.3	1.3	2.7	0.7	0.4	1.9	1.4	0.1	2.7	84.2
Salado	3200	1975-96	20.4	24.2	10.8	0.1	0.6	1.9	0.1	1.4	0.9	0.4	0.2	2.8	63.8
Turi	3053	1981-93	14.7	11.7	5.6	0.1	0.3	2.5	0.0	1.0	1.0	0.1	0.2	3.5	40.7
Ayquina	3031	1967-97	13.7	15.6	7.0	0.1	1.0	1.2	0.1	0.9	0.8	1.0	0.1	1.1	42.6
Camar	2800	1979-97	9.2	12.8	5.3	0.2	0.8	5.8	1.0	1.3	0.8	0.0	0.4	1.2	38.8
Chiu Chiu	2524	1974-97	2.1	1.5	1.8	0.0	0.3	0.9	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	7.3
Peine	2480	1974-97	3.9	5.7	4.0	0.5	1.4	2.2	0.4	0.1	0.5	0.1	0.1	0.3	19.2
Socaire	2480	1974-97	13.6	13.4	6.1	1.6	2.7	4.3	0.5	1.3	1.2	0.5	0.5	1.0	46.7
Toconao	2430	1976-97	10.8	16.0	4.0	0.3	1.1	2.8	0.0	0.5	0.6	0.1	0.2	2.1	38.5
Bolivia															
Alota	3609	1985-00	40.1	23.4	19.8	2.9	0.5	1.0	0.0	0.5	0.0	0.4	5.2	21.3	115.1
Julaca	3665	1979-85	45.1	34.6	16.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	16.0	116.4
Calcha de Lipez	3670	1983-98	61.9	38.8	17.2	1.7	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.7	8.3	25.3	154.3
Colcha K	3780	1980-00	82.2	37.8	23.9	2.6	1.1	0.6	0.1	0.8	0.3	1.3	2.8	29.4	168.9
Laguna Colorada	4278	1980-00	40.8	33.0	16.1	2.8	0.9	2.3	0.0	1.9	1.6	0.0	5.1	24.4	73.5
San Antonio Esmoruco	3690	1980-92	91.6	76.8	55.5	12.6	0.1	0.4	0.2	1.3	2.5	1.6	12.5	53.2	308.3
San Antonio Lipez	4500	1980-93	88.9	58.0	43.5	4.8	1.1	0.8	0.0	0.2	3.0	2.6	16.3	61.4	280.6
San Pablo de Lipez	4230	1977-01	83.0	56.2	34.0	2.2	0.9	1.5	0.8	2.6	1.7	5.4	15.5	50.5	254.3
Uyuni	3670	1976-01	56.3	37.4	31.4	2.8	0.9	1.3	0.1	2.3	2.6	2.3	11.0	44.6	192.8

Evaporación

Las estimaciones de evapotranspiración potencial (ETP) en el Altiplano Sur han sido hasta ahora muy inciertas, lo que se ha traducido en valores medios anuales que van desde 500 hasta 1400 mm/año. La principal causa de esta incertidumbre es la falta de datos medidos, tanto de evaporación en tanque como de las variables climatológicas (temperatura, humedad relativa, vientos, radiación solar) que se requieren para poder aplicar ecuaciones como la de Penman. En todo el sector boliviano solo la estación meteorológica de Uyuni cuenta con mediciones de esas variables y de evaporación en tanque.

Sin embargo, las estaciones del sector chileno cuentan con más información. La tabla 3.3 muestra los valores medios mensuales y anuales de la evaporación medida en tanque evaporimétrico en varias estaciones chilenas, así como en Uyuni y Tupiza, esta última situada fuera del Altiplano. Tomando en cuenta las características del tanque de medición, es frecuente aplicar un coeficiente de corrección a los valores medidos para adecuarlos a los estimados con la

ecuación de Penman. Para el Altiplano central, Herbas (1992) estimó un coeficiente medio anual del orden de 0.85. En el Altiplano Sur, donde gran parte del año el agua se congela, puede suponerse coeficientes incluso superiores.

Tabla 3.3: Evaporación media mensual y anual en tanque (mm)

Estación	Altitud	Periodo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
El Talio	4320	85-94	166	138	152	124	88	73	91	90	127	170	189	182	1588
Incaliri	4100	69-92	220	179	203	183	150	108	118	146	175	247	264	280	273
Linzor	4096	74-95	186	164	175	155	120	89	108	121	143	195	216	215	1887
Caspana	3260	74-95	216	183	181	166	162	138	149	167	182	204	214	227	187
Turi	3053	82-93	280	238	229	204	184	159	183	211	245	283	301	318	284
Chiu Chiu	2524	76-95	249	216	208	194	186	179	188	214	236	265	269	273	277
Uyuni	3660	75-01	158	130	153	147	105	83	92	123	153	177	185	187	192
Tupiza	2952	76-96	149	137	142	147	126	116	126	149	177	205	216	184	1876

Fuente: Chaffaut y SENAMHI

Aún considerando que las estaciones como Chiu Chiu y Turi están a menor altitud (ver tabla 3.1) y próximas a la pampa desértica (figura 3.4), los datos sugieren que la evaporación en el Altiplano sur supera ampliamente los 1000 mm/año, incluso en el extremo Suroeste. Por ejemplo, las estaciones de El Talio, Linzor e Incaliri están próximas a Laguna Colorada.

La tabla 3.4 muestra la evaporación potencial estimada con Penman en varias estaciones chilenas y bolivianas. Se han tomado en cuenta estudios recientes que permiten estimar con mayor precisión la radiación solar incidente, un parámetro que afecta fuertemente a la ETP. Para el presente estudio se usó la relación propuesta por Herbas (1992) para el Altiplano central. Para las estaciones de El Talio, Chiu Chiu y Uyuni, los datos de las tabla 3.3 y 3.4 muestran un comportamiento similar a lo largo del año. La ETP calculada con Penman es más baja que la medida en tanque, como era de esperar. La figura 3.6 muestra los valores mensuales para la estación de Uyuni.

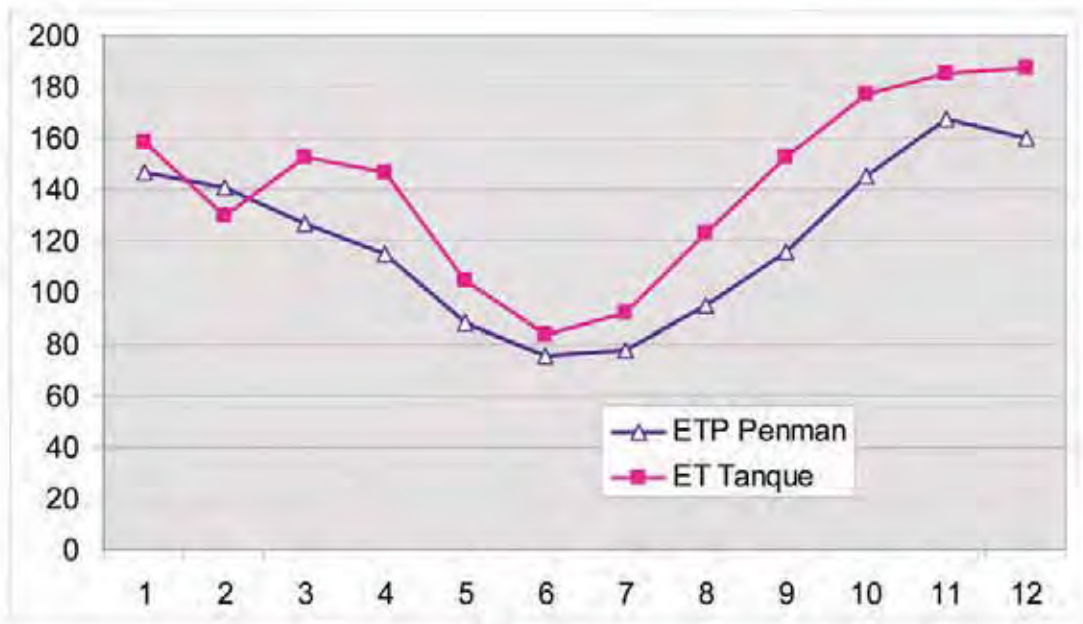
La evaporación es alta en todo el Altiplano Sur de Bolivia y muy alta al oeste de la Cordillera Occidental, en la región de Antofagasta. Para el sector próximo a Laguna Colorada, puede tomarse como referencia los datos de El Talio (ETP=1327 mm/año), una estación situada casi a la misma altitud.

Tabla 3.4: Evapotranspiración media mensual y anual según Penman (mm)

Estación	Altitud	Periodo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
El Talio	4320	85-94	126	124	109	99	84	82	82	105	114	139	137	127	1327
Quisqui	4250	94-96	144	145	113	93	74	68	89	122	123	129	151	153	1403
Chiu Chiu	2524	76-95	187	180	161	142	117	99	105	128	165	187	209	203	1883
Uyuni	3660	76-96	149	138	130	111	85	74	76	93	115	146	165	159	1439
Colcha K	3780	80-99	133	127	120	114	94	86	92	102	126	148	161	152	1454
Julaca	3670	74-85	174	164	152	126	96	75	79	110	136	164	192	193	1661

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6:
Comparación de ETP y evaporación en tanque (mm), estación de Uyuni



La evaporación es al menos 12 veces mayor que la precipitación P en el extremo suroeste de Potosí. Esa relación se reduce hacia el norte (salar de Uyuni) y el este (San Pablo de López). Las figuras 3.7 y 3.8 muestran los valores mensuales de P y ETP para El Tatio y Uyuni. Según el balance hídrico puntual, no hay posibilidad de que el agua se almacene en el suelo en ningún mes del año.

Figura 3.7: P y ETP en El Tatio

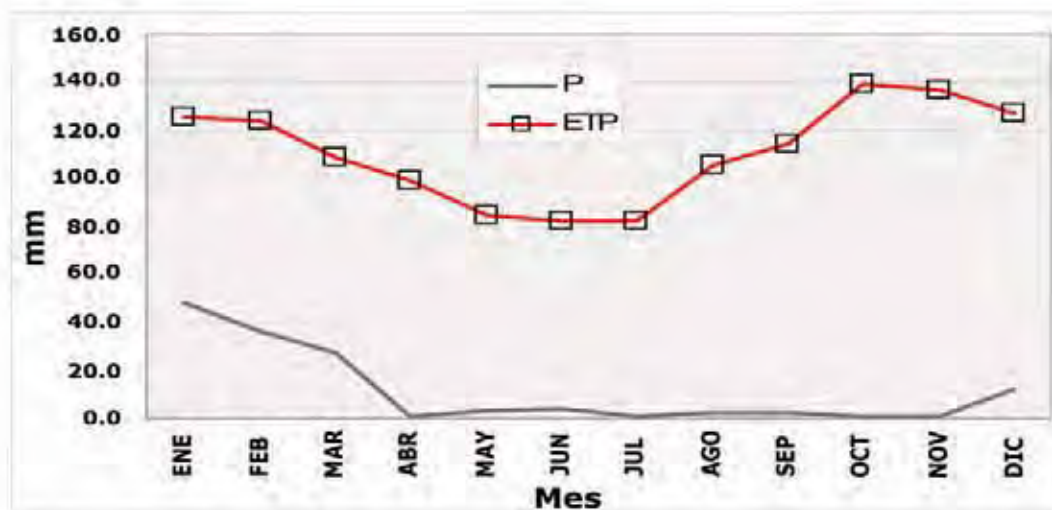
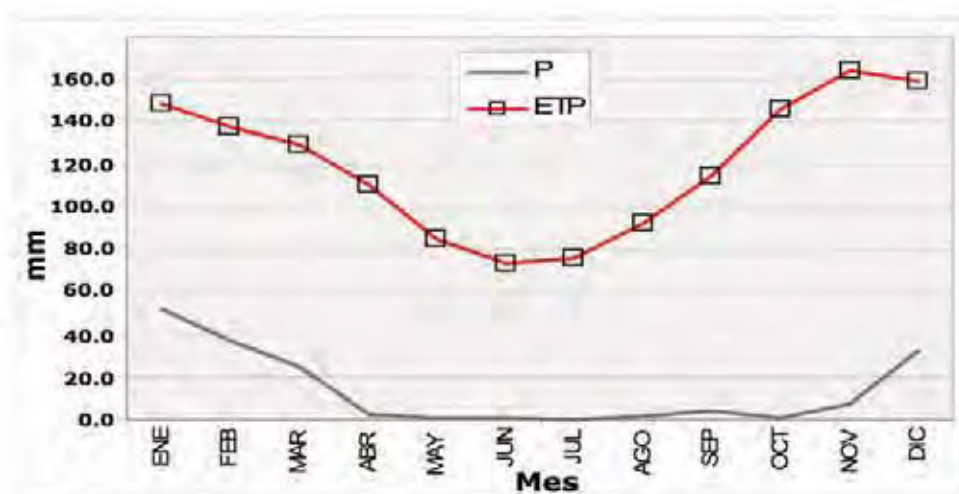


Figura 3.8: P y ETP en Uyuni



Otras variables climáticas

Las tablas 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 muestran los valores medios mensuales y anuales de temperatura, humedad relativa, vientos e insolación en algunas estaciones meteorológicas de la región. La temperatura se puede relacionar con la altitud y latitud, pero también por la exposición del lugar. Destaca la muy baja humedad relativa y muy alta insolación registradas en las estaciones chilenas. Las estaciones bolivianas registran una humedad significativamente mayor e insolación menor, pero aun así corresponden a un clima más árido que el resto del Altiplano.

Tabla 3.5: Temperatura media en °C

Estación	Altitud	Periodo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANO
El Tatio	4320	1983-95	13.0	12.4	12.1	10.2	7.0	4.9	4.7	6.6	8.6	10.6	11.9	13.0	9.6
Incaliri	4100	1969-92	7.9	8.1	7.8	5.9	3.8	2.4	2.0	2.9	4.2	5.5	6.7	7.9	5.4
Linzor	4096	1973-95	6.5	6.1	5.8	3.6	1.8	0.5	0.8	1.5	2.2	2.2	5.2	6.5	3.6
Caspana	3260	1973-95	12.1	12.1	11.7	10.6	9.2	8.5	8.5	9.1	9.5	10.4	11.3	12.0	10.4
Turi	3053	1981-93	12.3	12.0	11.2	9.3	7.6	6.4	6.0	6.8	7.3	9.3	10.2	11.6	9.2
Chiu Chiu	2524	1979-95	13.5	13.7	13.5	12.5	11.4	10.3	9.8	10.9	11.4	11.4	12.8	13.3	12.0
Uyuni	3660	1979-96	13.1	12.1	11.7	9.0	5.3	2.1	1.8	4.1	5.9	8.9	11.4	12.3	8.1
Colcha K	3780	1986-02	13.0	12.4	12.1	10.2	7.0	4.9	4.7	6.6	8.6	10.6	11.9	13.0	9.6
Julaca	3690	1974-85	11.4	11.4	10.6	6.9	3.1	0.4	-0.2	2.1	4.1	7.1	9.1	10.9	6.4
S.Pablo López	4230	1993-01	9.4	8.8	8.1	6.3	3.2	0.5	0.5	1.8	3.6	5.8	8.1	9.5	5.5

Tabla 3.6: Humedad relativa en %

Estación	Altitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Incaliri	4100	29	26	29	22	20	23	24	26	25	19	24	25	24
Linzor	4096	42	39	41	29	26	26	23	22	26	23	25	33	30
Caspana	3260	41	34	35	27	23	17	18	17	18	18	25	32	25
Turi	3053	39	33	35	27	24	24	18	18	17	22	24	33	26
Uyuni	3660	48	49	46	41	41	38	39	38	39	34	34	40	40
Colcha K	3780	50	47	46	37	35	35	33	33	33	36	35	42	38
Julaca	3670	60	63	61	58	59	62	60	56	55	52	51	55	58

Tabla 3.7: Velocidad media del viento en m/s

Estación	Altitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Quisquiro	4250	2.5	2.5	2.4	2.4	2.7	3.4	3.3	3.6	3.2	3.4	2.9	2.7	2.9
Chiu Chiu	2524	3.5	3.3	3.3	3.3	3.5	3.5	3.7	3.8	4.3	3.9	3.8	3.8	3.6
Uyuni	3660	2.2	2.0	2.0	2.4	2.5	2.7	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.3	2.4
Colcha K	3780	1.5	1.4	1.4	1.9	2.2	2.6	2.6	2.2	2.2	2.3	2.2	1.7	2.0
Julaca	3670	5.8	5.5	5.5	5.5	5.9	5.9	6.0	6.7	6.6	6.0	6.1	5.9	5.9

Tabla 3.8: Número de horas de sol

Estación	Altitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
El Tatio	4320	8.9	8.4	8.6	10.0	8.4	8.1	9.0	8.9	9.9	10.9	10.2	7.9	9.1
Chi Chiu	2524	10.6	10.8	10.1	9.8	8.8	8.7	9.0	9.7	10.3	11.2	11.2	11.1	10.1
Uyuni	3660	7.3	8.0	9.1	8.6	7.3	8.2	8.9	9.0	9.4	9.5	8.8	8.4	8.5
Julaca	3670	7.8	8.5	8.6	10.0	9.6	9.0	9.4	9.1	9.6	10.0	11.0	9.7	9.3

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI y DGA

4. HIDROLOGIA Y RECURSOS HÍDRICOS

4.1 Cuencas y ambientes hídricos

Con la excepción del río Grande y sus afluentes, incluyendo el río Quetena, que forman parte de la cuenca del salar de Uyuni, las aguas que fluyen superficialmente en el Sudoeste de Potosí aportan a pequeñas cuencas cerradas con una depresión central, ocupada por una laguna o salar. Algo similar ocurre en la región de Antofagasta, con la excepción del río Loa y la cuenca del salar de Atacama. La figura 4.1 muestra los límites de las subcuencas de la región como líneas de color negro, los límites del departamento de Potosí y de la cuenca del Altiplano en color rojo y los cursos de agua principales en azul. Obsérvese que algunas subcuencas son compartidas entre países, entre las que destacan las del río Zapaleri, del salar de Ascotán y de San Pedro Inacaliri.

Solamente dentro de la Reserva Eduardo Abaroa se han identificado 38 lagunas. Las más pequeñas ocupan solamente algunas hectáreas, pero las más grandes llegan a tener superficies en el orden de kilómetros cuadrados. La más grande es la laguna Colorada, de 54 km² de superficie. Por sus características morfológicas las lagunas del Sudoeste de Potosí pueden dividirse en cuatro grupos principales (CEEDI, 1990).

TIPO I. Lagunas saladas con fondo impermeable que las separa de una napa de agua dulce subterránea más extendida y que rodea a la laguna. Esta napa alimenta la laguna por infiltraciones. Ejemplo: Laguna Verde.

TIPO II. Salares o lagos salados desecados con una gruesa capa de sal que encierra una salmuera residual intersticial, que se cubren de una delgada capa de agua sólo durante la época de lluvia.

TIPO III. Lagunas saladas constituidas por un afloramiento de la napa freática sobre sedimentos detríticos finos ocupando una depresión. Son poco profundas. Ejemplo: Laguna Cachi.

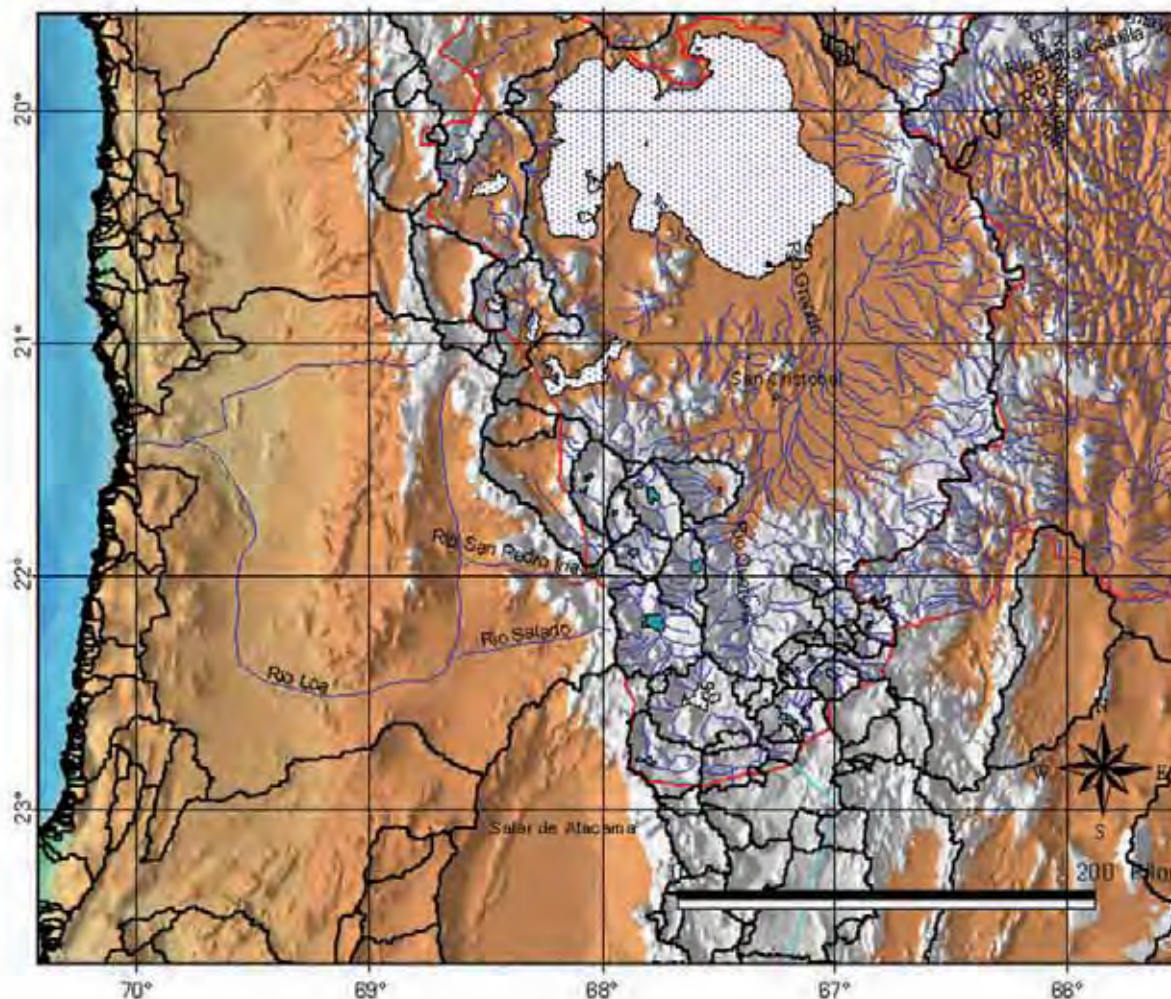
Tipo IV. Lagunas saladas situadas sobre sedimentos impermeables e independientes de la napa cautiva situada debajo de ella. Ejemplos: Lagunas Chojlla y Chalviri.

Existen lagunas de tipo intermedio entre I y IV, como las lagunas Colorada y Hedionda. Las lagunas del tipo IV son alimentadas principalmente por el escurrimiento superficial (que de todas maneras es de origen subterráneo), mientras que el escurrimiento subsuperficial y subterráneo adquiere importancia en el tipo I. Las aguas termales no forman un aporte significativo en volumen, pero sí en materias disueltas.

Existen otros ambientes hídricos en la región, como los bofedales, éstos últimos ubicados principalmente a lo largo del río Quetena y afluentes del río Grande en Bolivia y a lo largo de la Cordillera volcánica en Antofagasta. Debido a la gran cantidad de manantiales, los bofedales ocupan una superficie importante y son fundamentales para la ganadería de camélidos, que es la principal actividad en Sur Lízpez, que a diferencia de las provincias Campos, Guizarro y Nor Lízpez, no puede sostener actividades agrícolas por las características climáticas.

Muchos cursos de agua se originan en manantiales aflorantes, en altitudes próximas a los 5000 msnm, que son superiores a los valores comunes en cuencas altiplánicas. Estos valores sólo son posibles por la inexistencia de glaciares. Con la excepción de los ríos Quetena (130 km de longitud), Grande y alguno de sus afluentes, los cursos son cortos.

Figura 4.1: Cuencas hidrográficas



4.2 Caracterización hidrológica y aguas subterráneas

No existen estaciones que midan caudal en Bolivia. En el estudio de Diagnóstico de la Reserva Abaroa (IE,MHN,CEEDI) se mencionan valores de caudales en época seca para algunos cursos de agua, pero sin precisar fecha ni forma de medición, por lo que cabe suponer que son simples estimaciones. Sin embargo, se mencionan como referencia: río Sulor (40 l/s), río Huayllajara (45 l/s), ubicados respectivamente al Noreste y Sudeste de Laguna Colorada, río San Antonio antes de confluencia con río Quetena (700 l/s) y río Quetena después de confluencia con San Antonio (1000 l/s). La fecha en que se realizaron esas estimaciones probablemente esté próxima a los muestreos de agua (27-30 junio 1989).

Los manantiales del Silala han sido aforados en varias ocasiones, dando valores entre 150 y 250 l/s en el canal principal que recolecta las aguas de todos los manantiales. El Estudio de Impacto ambiental del proyecto San Cristóbal midió el caudal del río Grande en sitios próximos al proyecto, durante el año 1997-98. Durante ese año, que fue muy seco en toda la región (ver figura 3.5), el caudal del río Grande, aguas abajo de la confluencia con el río Toldos, varió entre 381 l/s en nov 1997 y 1546 l/s en febrero 1998 (Knight Piésold, 2000).

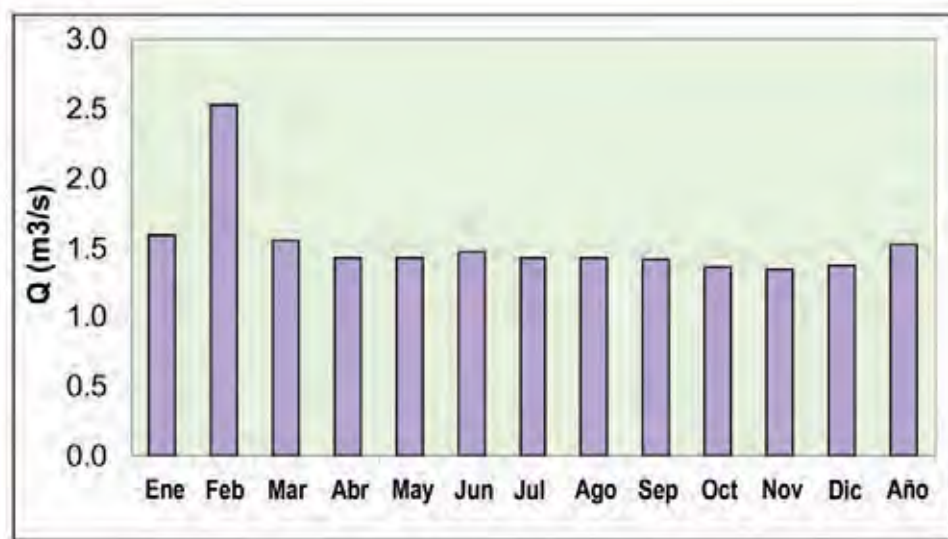
Varios cursos de agua en Chile sí tienen registros continuos de varios años de duración. La tabla 4.1 muestra caudales medios mensuales y anuales registrados en tres ríos de la cuenca del Loa, que se pueden observar en la figura 4.1. Los datos del río Salado corresponden a valores naturalizados por Chaffaut (1998), mientras que los otros dos provienen del Balance Hídrico de Chile. Estos últimos probablemente estén afectados por extracciones y regulación, por lo que solamente deben tomarse como una referencia general. La cuenca del río Salado, ubicada al oeste de Laguna Colorada es la cuenca de más alto rendimiento de agua de toda la región de Antofagasta. Tiene una extensión de 802 km² en el punto de control de Sifón Ayquina, que es la estación 2 de la figura 3.4. En sus cabeceras se encuentran Linzor y El Tatio, dos de las estaciones que registran más lluvia en esa región.

Tabla 4.1: Caudal medio en cursos de agua de la región de Antofagasta

Río y estación	Periodo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Salado en Ayquina	1975-90	1.59	2.53	1.55	1.43	1.43	1.46	1.43	1.42	1.41	1.36	1.35	1.37	1.52
Loa en Lequena	1961-80	0.55	0.68	0.59	0.50	0.52	0.55	0.53	0.52	0.43	0.52	0.48	0.47	0.53
S. Pedro en Cuchabrache	1961-80	0.94	1.25	1.14	0.80	0.87	0.87	0.86	0.84	0.85	0.80	0.75	0.84	0.90

La figura 4.2 muestra el caudal del río Salado a lo largo del año, como promedio de 15 años (1975-90). El flujo promedio anual es del orden de 1.5 m³/s y se observa que el caudal del río es virtualmente constante durante todo el año, con excepción de febrero. El valor más alto de febrero se debe a una crecida extraordinaria que ocurrió en 1977, provocada por una lluvia excepcional en las cabeceras. En menos de 2 semanas llovió en Linzor 223 mm, más de lo que llueve en promedio durante todo el año (ver tabla 3.1).

Figura 4.2: Caudal medio mensual del río Salado en Sifón Ayquina



El valor constante del caudal prácticamente todo el año, a pesar de que no llueve 8 meses, sólo puede explicarse por la existencia de regulación subterránea. Es decir, que las aguas superficiales provienen del almacenamiento subterráneo en acuíferos. Esta regulación no solo es a nivel mensual, sino también anual, como se observa en la tabla 4.2, donde se muestra la precipitación anual P, la lámina de escurrimiento LE y el coeficiente de escurrimiento CE que es la relación entre escurrimiento y precipitación LE/P en la cuenca del río Salado.

Tabla 4.2: Precipitación y escurrimiento interanual en la cuenca del río Salado

Año	P (mm)	LE (mm)	CE (%)
75-76	215	62	29
76-77	277	120	43
77-78	64	56	87
78-79	94	51	54
79-80	48	55	115
80-81	120	60	50
81-82	37	54	146
82-83	87	55	63
83-84	294	62	21
84-85	172	60	35
85-86	129	55	43
86-87	239	58	24
87-88	53	53	100
88-89	132	59	45
89-90	41	54	132
Media	134	70	52

Fuente: Chaffaut (1998)

Es importante destacar los siguientes aspectos:

- La precipitación es, en promedio, baja (un poco más de 100 mm/año) y muy variable de un año a otro: hay años en que ha superado los 250 mm, mientras que en otros está por debajo de 50 mm.
- Por el contrario, el escurrimiento es casi constante de un año a otro, en el orden de 50 a 60 mm, con la única excepción del año 77. Durante varios años la escorrentía ha sido mayor que la precipitación, por lo que los coeficientes de escurrimiento alcanzan valores superiores al 100%.

Lo anterior implica, desde el punto de vista hidrológico, que el escurrimiento es independiente de la precipitación anual. No importa cuanto haya llovido en la cuenca, el escurrimiento tiene un valor muy próximo a 60 mm. Se puede concluir que en esta cuenca la regulación se da en un lapso muy grande, es decir que el agua que está fluyendo puede originarse en lluvias ocurridas años, décadas o siglos atrás.

Los datos presentados por Chaffaut (1998) empleando isótopos para estudiar la antigüedad de las aguas, refuerzan esa hipótesis. La tabla 4.3 muestra estimaciones sobre la edad de las aguas (datación) para muestras tomadas en diferentes puntos. La "edad" se refiere a la época en que se produjo la precipitación que dio origen al agua que se está analizando. La tabla 4.3 incluye al manantial Norte del Silala, al que se le asigna una edad entre 940 y 2800 años, dependiendo de si la actividad inicial A_0 es de 80 o 100%, respectivamente. Los tiempos de residencia más largos se presentan al pie de la cordillera Occidental en Chile, con edades entre 17,000 y 19,000 años. Hacia el Altiplano, las aguas más antiguas corresponden al manantial de Loyaques (5300 a 3400 años) en Chile y las más modernas al afluente Aguas Calientes (91 años), que alimenta la laguna Salada, de la cuenca del salar de Challviri en Bolivia.

Tabla 4.3: Edad de las aguas muestreadas en la región

Refer.	Nombre	Descripción	Altitud (m)	Edad (años) ($A_0=100\%$)	Edad (años) ($A_0=80\%$)
S2	Loyaques	Pequeña cuenca en el flanco de una meseta ignimbrítica	4300	5278	3433
S5	Arenales Helada	Tributario Laguna Helada	4350	1894	50
S10	Torta de Tocorpuri	Al pie de acantilados riolíticos	4500	12570	10725
S26.1	Ascotan	Al pie de morrenas y glaciar de escombros	4675	2104	259
S30	Paco Paco verdadero	Valle al pie de estratovolcanes	3960	5228	3383
S31	Toro Norte	Al pie de volcán	3960	3150	1306
S47	Silala norte	Manantial, nivel de tufs	4400	2784	939
S8	Baños Puritana	Cabecera en lecho andesítico	3500	18952	17108
L38	Laguna Licancabur	Lago en la cúspide de crater volcánico	5845	0	0
M53	Afluente Aguas Calientes	Humedal en meseta ignimbrítica	4800	91	

Fuente: Chaffaut (1998)

El estudio de Chaffaut concluye, entre otras cosas, lo siguiente:

- Que las aguas de lluvia pueden identificarse isotópicamente en dos grupos bien diferenciados:
 - a) El sector al oeste de la cordillera volcánica, cuyas aguas tienen origen en el océano Pacífico.
 - b) Al este, en el sector altiplánico y salares (Bolivia), las aguas son de origen atlántico, con un contenido isotópico menor.
- Las fuentes de agua (ríos, vertientes, manantiales), exhiben la misma tendencia. Esto indica una relación genérica, es decir que hay una relación entre el origen de la precipitación y las aguas que escurren.
- Sin embargo, el caudal de nacientes y ríos es independiente de las precipitaciones, excepto para episodios lluviosos extremos, por tanto, no son las lluvias actuales las que alimentan esas vertientes, al menos para la región de Antofagasta y el extremo suroeste de Potosí.
- Se estima que menos del 20% del escurrimiento actual proviene de aguas recientes. El resto son aguas de origen subterráneo, cuya datación radiocarbónica indica edades entre 100 y 20000 años.

De lo anterior se pueden derivar conclusiones importantes: a) las aguas que fluyen en la región son básicamente subterráneas y b) son bastante antiguas. Otros estudios van más allá. Aravena (1995) encontró que en la Pampa del Tamarugal las aguas tienen relativamente buena calidad (salinidad baja a moderada), excepto en el sector de los salares, donde la salinidad es alta. El autor considera que una parte importante del agua subterránea debería considerarse un recurso no renovable.

De acuerdo al estudio realizado por otro grupo de investigadores franceses y chilenos (Pourrut et al, 1995), la fracción de tritio en las aguas superficiales indica su origen subterráneo, con edades siempre superiores a 50 años y un tiempo de tránsito/residencia muy elevado. Sin embargo, no se observa disminución en el escurrimiento y rendimiento global de las cuencas de la región de Antofagasta, por lo que los autores plantean algunas hipótesis para explicar eso:

- Los acuíferos son muy potentes. Son depósitos muy grandes en carga hidráulica.
- De acuerdo a estudios paleoclimáticos, las condiciones pluviométricas (volumen de lluvia mayor que en la actualidad) fueron propicias para procurar una recarga anual de los acuíferos durante el período tardiglacial (17,000-10,000 AC) y el Holoceno inferior (5000-2000

años atrás). Como se vio en el punto 3.1 "El clima del pasado", esto está de acuerdo con otros estudios que indican que el periodo entre los 14,000 y 10,000 años AP fue muy húmedo y coincidió con el nivel máximo del lago Tauca. También coincide con la recuperación de nivel del lago Titicaca entre 5000 y 2000 años atrás.

- Las precipitaciones en la zona de recarga estarían subestimadas y se produciría infiltración y recarga consecutiva a la fusión de nieves.
- Otra hipótesis con implicaciones aún más interesantes es que existirían aportes externos importantes desde el Altiplano (boliviano) especialmente durante tormentas de magnitud. Es una hipótesis basada en que las lluvias son más importantes en el lado boliviano y que durante lluvias o episodios extremos esa agua podría infiltrarse desde el lado boliviano y alimentar algunos de los acuíferos que están siendo explotados en el sector chileno.

Con respecto a la hipótesis de que la precipitación en la zona de recarga estaría subestimada, el análisis del clima actual (punto 3.2 del presente informe) muestra que la precipitación en el extremo suroeste de Potosí probablemente ha sido subestimada y que no se registra parte de la precipitación, que cae en forma de nieve. Existe otra posibilidad: que exista alguna recarga proveniente de los llamados "glaciares de escombros". Estos son pequeños depósitos de hielo mezclados con rocas que se encuentran en depresiones situadas en montañas altas. Actualmente ocupan una superficie muy modesta en la región de los Lípez. Si bien la mayor parte parece haberse formado entre 4000 y 3000 años atrás, se considera probable que reciban alguna "recarga" actualmente, proveniente de la nieve que cae en las cumbres de las montañas, donde llueve más que en el Altiplano circundante (Francou et al, 1999). Se supone que al derretirse pueden recargar los acuíferos cercanos. Sin embargo, es poco probable que el derretimiento de la nieve y de los glaciares de escombros aporte con un volumen de agua significativo al escurrimiento en las zonas donde llueve menos de 100 mm/año.

Los acuíferos del sudoeste de Potosí y la región de Antofagasta están frecuentemente asociados con los depósitos de ignimbritas. Las ignimbritas provienen de erupciones volcánicas ricas en sílice y elementos volátiles. Están formadas por depósitos de cenizas que cubren superficies grandes, frecuentemente atravesadas por fallas geológicas. Los depósitos de ignimbritas solidificadas presentan una porosidad entre 15 y 30% y los no solidificados, más recientes, alcanzan porosidades muy altas de hasta 80%. La porosidad indica el volumen relativo de huecos o vacíos de una roca o suelo. El material más poroso puede almacenar más agua.

Otra característica importante de los acuíferos es su permeabilidad, es decir su capacidad de dejar pasar el agua. Chaffaut (1998) estima que las ignimbritas y riolitas presentan transmividades entre 1 y 10 m²/día, que llegan a 100 m²/día para ciertas ignimbritas y piroclastos no solidificados. La permeabilidad de muchos depósitos ignimbriticos se ve frecuentemente

favorecida por su alta fracturación y diaclasamiento. La figura 4.3 muestra los depósitos aflorantes de ignimbritas a lo largo de la cordillera volcánica, en Potosí y Antofagasta. Si bien existen ignimbritas a lo largo de toda la cordillera Occidental y por tanto de la actual frontera boliviano-chilena, los depósitos más grandes se encuentran en Sur Lípez y la zona colindante de Chile y Argentina. Es probable de que algunos de esos depósitos estén interconectados. Es decir, que la cuenca hidrogeológica no coincida con la cuenca topográfica (superficial) y que haya flujo de agua subterránea de una cuenca a otra.

En Sur Lípez, al este del meridiano 67° la lluvia anual supera los 300 mm/año (ver figura 3.4). Para este nivel de precipitación actualmente existe flujo superficial y recarga de acuíferos. Si hay interconexión subterránea, existe la posibilidad de que acuíferos más al oeste, *incluyendo algunos del sector chileno al oeste de la cordillera Occidental*, reciban actualmente agua proveniente del Altiplano boliviano, tal como lo suponen Pourrut et al.

Se tiene un panorama de la hidrología de la región, pero subsiste la pregunta: ¿cuánta agua hay? Pouyaut (com. pers., 2000), sin especificar sus fuentes de información ni métodos de cálculo, estimó en 20 m³/s los recursos hídricos del suroeste de Potosí. Este valor debe ser entendido como un caudal equivalente a las aguas superficiales y subterráneas que fluyen en la región, sin tomar en cuenta si se originan en fuentes no renovables o si alimentan bofedales, lagunas u otros cuerpos de agua. SERGEOMIN (2001a) estima que existe un potencial de producción de agua adicional entre 6000 hasta 10000 litros/segundo en la Faja Volcánica Occidental y la zona contigua del Altiplano boliviano una región que se extiende desde la cuenca del río Mauri en el departamento de La Paz hasta el extremo suroeste del departamento de Potosí. La región estudiada por SERGEOMIN tiene una superficie que casi duplica la del suroeste de Potosí, pero incluye a esta.

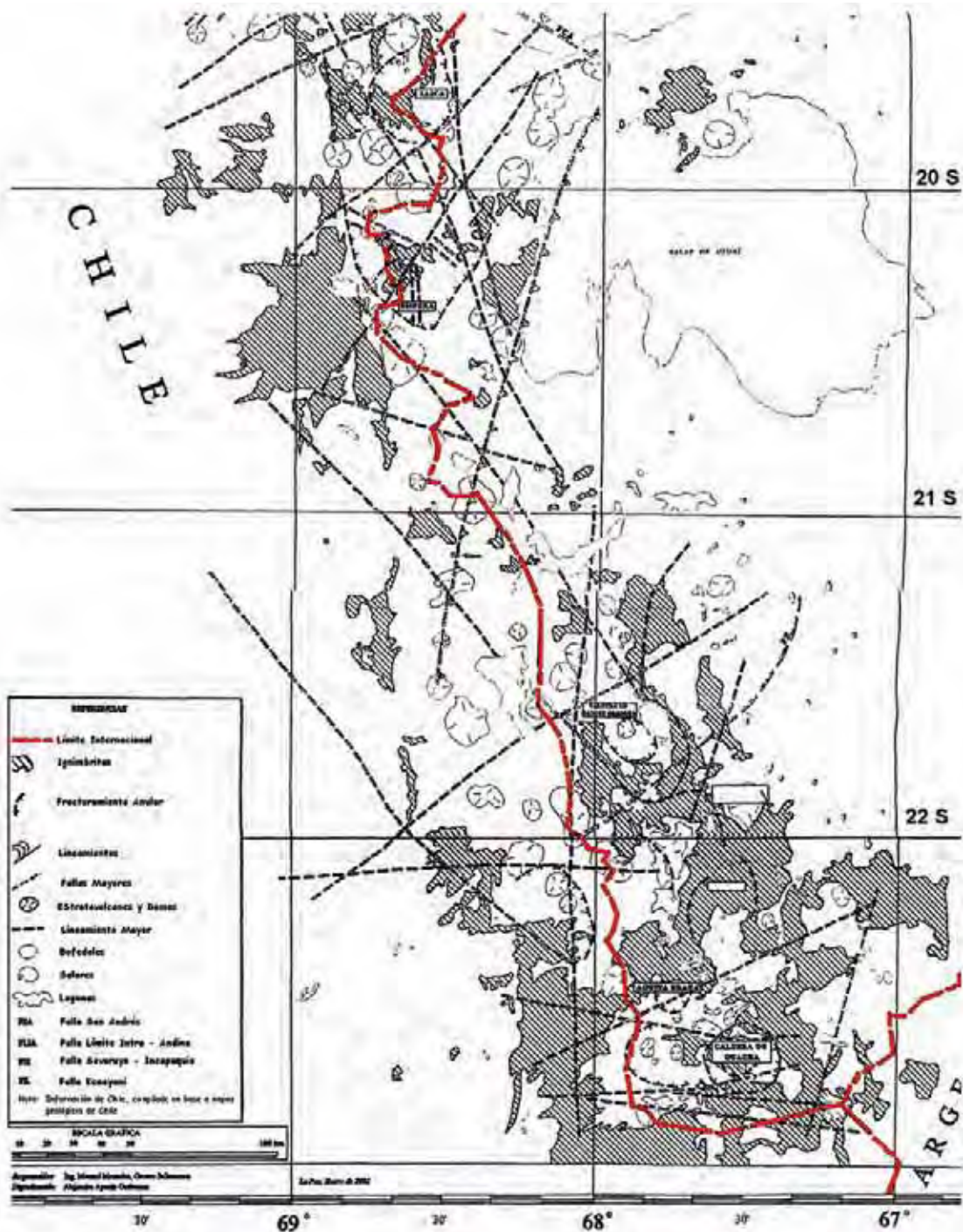
No existen datos continuos de caudal en el sector boliviano, pero es posible realizar estimaciones tomando como ejemplo la cuenca de la Laguna Colorada. Según datos recientes (WWF, 2006), el área de la cuenca de aporte es de 1371 km² y según ZONISIG, el área de la laguna es de 54 km². El estudio de Diagnóstico de la Reserva Abaroa menciona que la superficie disminuye a 30 km² en época seca. La tabla 4.4 muestra el balance hídrico de la laguna para esas dos superficies, usando los datos de precipitación de la tabla 3.1 y de evaporación de la tabla 3.4. El balance hídrico responde a la siguiente pregunta: ¿cuánta agua se necesita que aporte la cuenca a la Laguna Colorada para que esta se mantenga con una superficie determinada (54 o 30 km²)?

Tabla 4.4: Balance hídrico de la laguna Colorada

Cuenca	Sup (m2)	Sup. Lag (km2)	P (mm)	EV (mm)	LE (mm)	Q(l/s)	q(l/s-km2)
L. Colorada	1371	54	75	1327	49	2144	1.5
		30	75	1327	27	1191	0.8

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI y DGA

Figura 4.3: Afloramientos de ignimbritas en la región de estudio



Fuente: SERGEOMIN (2001a)

Para una superficie de 54 km², se necesitaría un aporte medio de 2140 l/s, equivalentes a una lámina de escurrimiento de 48 mm (más de la mitad de la precipitación anual) y un caudal específico de 1.5 l/seg-km². Para una superficie de 30 km², se necesitaría 1190 l/s. El balance hídrico de la laguna pone en evidencia otra cosa: una disminución de la superficie de la laguna significa que los aportes de agua de la cuenca han disminuido. Las lagunas poco

profundas, como es el caso de Laguna Colorada (0.5 m de profundidad según Gabrol et al, 2006), son especialmente sensibles a esos cambios.

El balance hídrico se podría aplicar a todas las cuencas cerradas cuya depresión central esté ocupada por una laguna, para obtener una idea aproximada del caudal que fluye en esa región. Los datos requeridos son la superficie de la cuenca y de la laguna. Esta última se puede obtener de imágenes de satélite. La figura 4.4 muestra una imagen del año 2001 de la Laguna Colorada y de su cuenca de aporte (línea roja), con algunos de los conos volcánicos de la región. Para los ríos que forman parte de la cuenca del río Grande de Lipez se tendría que recurrir a otros métodos para estimar caudales, incluyendo estaciones de medición.

Figura 4.4: Laguna Colorada y cuenca de aporte



5. CALIDAD DE AGUAS

Las tablas 5.1 y 5.2 contienen los resultados de análisis de muestras de agua tomadas en el Sudoeste de Potosí (CEEDI, 1990) tanto en época junio como en octubre 1989. Las muestras se tomaron en diversos tipos de cuerpos de agua, generalmente alcalinos ($\text{pH} > 8$). La figura 5.1 muestra la ubicación de los puntos de muestreo de las tablas 5.1 y 5.2 (en verde) y de la tabla 5.3 (en rosado). Las líneas azules gruesas indican tanto el límite fronterizo como el límite entre la cuenca del Altiplano y la cuenca del Pilcomayo.

Los resultados de las tablas 5.1 y 5.2 podrían agruparse de la siguiente manera:

Lagunas

Todas las lagunas estudiadas son saladas a muy saladas, con un contenido de sales que va de 2 a más de 100 gr/l. Las altas concentraciones son resultado de la evaporación. Las aguas de la mayor parte de esas lagunas contienen también elementos como boro o arsénico en concentraciones muy altas, con niveles tóxicos para el hombre, que superan por mucho los límites permisibles de un cuerpo de clase D. Esos elementos tienen origen volcánico. Típicamente afloran a la superficie junto con el agua de manantiales geotermales, que luego son transportados hacia la laguna o depresión, donde se produce un proceso de concentración. La laguna Verde es la que presenta la mejor calidad físico-química.

Fuentes geotérmicas

Como las de Sol de Mañana y el pozo LC2. Su contenido total de sales es moderado a medio, pero con frecuencia presentan altos contenidos de boro y/o arsénico.

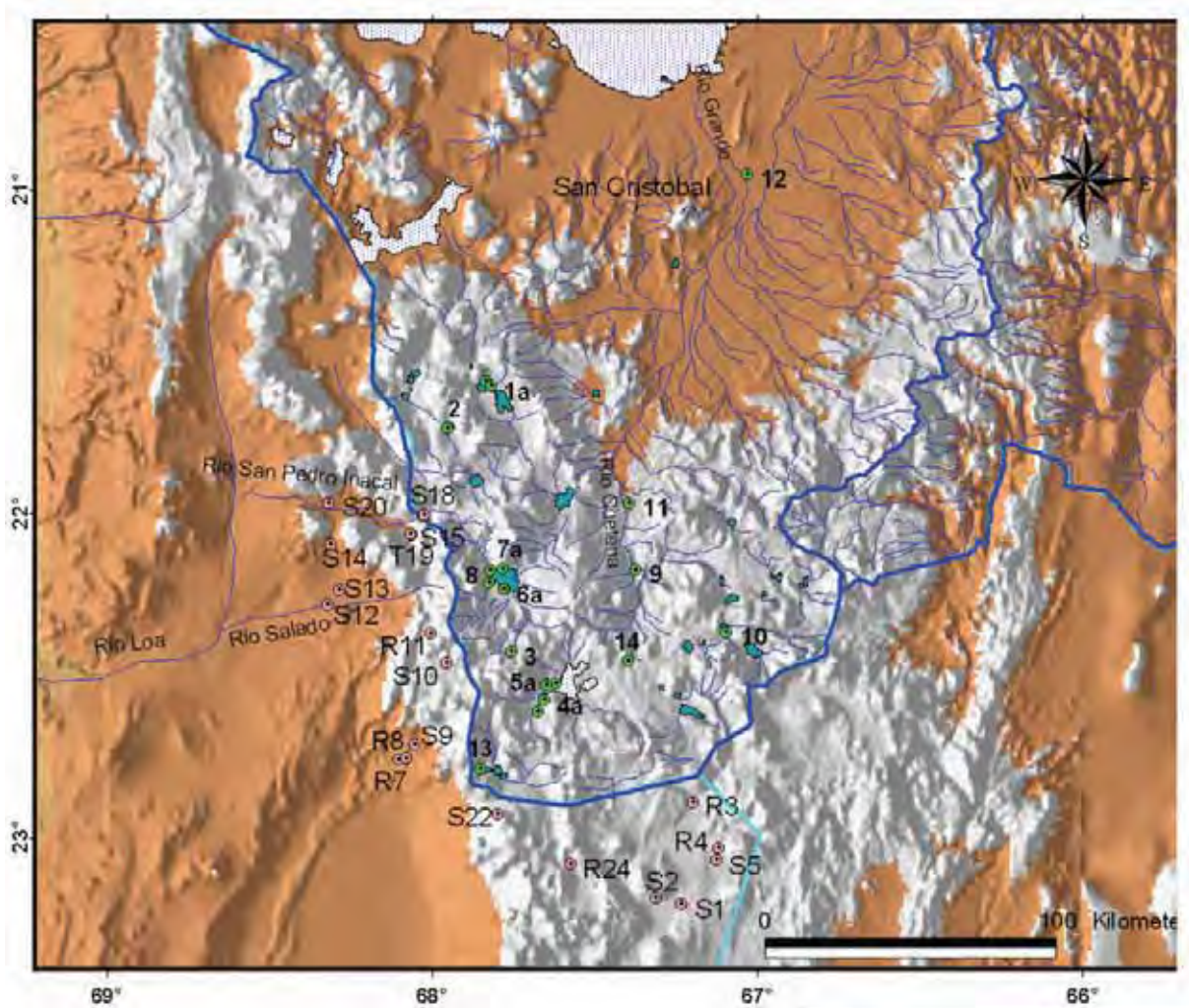
Manantiales y otros cursos de agua

Los cursos de agua originados en manantiales como el Chunchullerito (muestra 4a y 4b de las tablas 5.1 y 5.2), Huayllajara (muestra 6, afluente del lado este de la laguna Colorada) y Quetena en sus nacientes (muestra 9), presentan generalmente aguas de muy buena calidad físico-química, con un bajo contenido de sales, sin metales pesados y sólo ocasionalmente, presencia moderada de boro y/o arsénico. Predominan aguas del tipo bicarbonatado cálcico (ríos Chunchullerito y Quetena) o carbonatado sódico (Huayllajara).

Sin embargo, a medida que el agua escurre pendiente abajo, se observa un aumento del contenido de sales, así como de boro, arsénico y otros elementos. Esto se puede observar claramente en la muestra tomada en el tramo medio del río Quetena (muestra 11) y en el río Grande (muestra 12). Ese comportamiento es resultado tanto de la evaporación como del aporte de fuentes geotermales, lixiviación y o disolución de depósitos superficiales. En la desembocadura del río Grande en el Salar de Uyuni se han formado enormes depósitos evaporíticos que contienen, entre otros elementos, las mayores reservas de litio del mundo.

La tabla 5.3 contiene los resultados de otros análisis realizados por Chaffaut (1998) en manantiales y cursos de agua del sudoeste de Potosí y de la región de Antofagasta. No incluye salares o lagunas e incluso los cursos de agua denominados ríos tienen origen subterráneo. Todas las fuentes con una temperatura superior a 15° C pueden considerarse hidrotermales. Se observa que las muestras tomadas en este tipo de fuentes tienen, en su mayoría, un alto contenido de sales, incluyendo sulfatos. El contenido de sales del resto de muestras es moderado a bajo en la mayoría de los casos. Dentro de este grupo, destacan las muestras tomadas en los manantiales del Silala por su pureza (bajísimo contenido de sales) y por tanto, muy alta calidad físico-química. La conductividad más baja de los manantiales Norte del Silala es atribuida por SERGEOMIN (2001b) a que provienen de un nivel diferente de acuífero. La tabla incluye también el agua de la tubería Inacaliri, que abastece a Chuquicamata y Calama, es de muy buena calidad. El trabajo de Chaffaut no incluye análisis de boro y arsénico.

Figura 5.1: Ubicación de puntos de muestreo



La tabla 5.4 muestra valores de pH, temperatura y conductividad obtenidos en campo para otros cuerpos de agua. Nuevamente destaca la baja conductividad y por tanto bajo contenido de sales de la mayoría de los manantiales y de los cursos de agua que como el río Zapaleri, tienen origen subterráneo. La excepción es el río San Antonio, un afluente de la margen este del río Quetena. Los datos del río Quetena y del afluente este de Laguna Colorada coinciden con los de las tablas 5.1 y 5.2 (el Huayllajara es afluente este de la laguna Colorada). El manantial-río de Aguas Calientes es un afluente de la laguna Salada/salar de Challviri.

A pesar del vulcanismo de la Cordillera Occidental, la mayoría de los manantiales de la región tienen aguas de buena calidad físico-química. De ahí se puede inferir que los acuíferos subterráneos que dan origen a esos manantiales también tienen aguas de buena calidad. El contenido de sales de los cursos de agua aumenta a medida que aumenta su longitud en superficie, debido a la evaporación y al aporte de manantiales con más alto contenido de sales, que con frecuencia son también hidrotermales.

Tabla 5.1: Características físico-químicas de aguas, Sudoeste de Potosí – junio

Punto	Ubicación	Pto de muestreo	Lat.	Long.	Altitud msnm	Fecha	Hora	Temp. C	pH	Cond. mS/cm	T.S.D. mg/l	M.E.S mg/l	OD. mg/l	Satur. %			
1a	L.Pastos Grand.	Sector Oeste	21 39	67 48	4432	27-6-89	16:30	4	9.3	6.58	4428	104	6.9	92			
3	Sol de Mañana	Torre de perforación	22 23	67 54	4460	28-6-89	10:30	0	9.2	0.56	626	4	7.1	93			
4a	R.Chunchullerito	Entrada pastizal	22 32	67 37	4500	28-6-89	16:05	2	8.0	0.17	170	2	8.3	105			
5a	Lag. Chaliviri	Cerca a vertiente termal	22 32	67 37	4410	28-6-89	16:30	2	9.1	3.65		6	8.3	104			
6a	R.Huaylla Jara	2.5 km de pista	22 10	67 47	4300	28-6-89	18:05	1	8.9	0.31	332	6	8.8	104			
7a	Lag.Golorada	Isla de Borax	22 10	67 47	4278	29-6-89	9:30	-5	8.6	150.0	114600	7900	1.1	12			
8	Lag.Colorada	Fuente termal pozo LC2	22 10	67 47	4278	29-6-89	10:25	22	8.4	0.42	378	38	5.5	107			
9	R. Quetena	4.5 km de población	22 10	67 26	4185	29-6-89	13:15	1	8.0	0.21	234	8	7.9	100			
10	Lag.Chojilla	Sector Sur	22 21	67 06	4555	29-6-89	16:30	3	9.1	13.04	13000	92	7.9	104			
11	R.Quetena	Tramo central	21 58	67 24	4185	30-6-39	12:15	2	8.6	1.64	1436	90	7.4	90			
12	R.Grande	Próximo a Uyuni	20 57	67 02	3745	30-6-89	17:15	1	8.6	2.05	1938	90	8.4	94			
Punto	Ubicación	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe mg/l	B mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Pb mg/l	As mg/l	Cl mg/l	S04 mg/l	C03 mg/l	HCO3 mg/l	N03 mg/l	P04 mg/l
1a	L.Pastos Grand.	87.5	30.0	1325	95	0.1	10.7			0.020	0.3	2497	28	14.9	29.6		1.3
3	Sol de Mañana	39.4	7.2	16	16	2.8	6.3		0.2	0.005	0.2	52	171	8.9	7.1	1.7	0.1
4a	R.Chunchullerito	9.2	2.6	6	3	0.2	0.7		0.2	0.003	0.9	9	28		40.0	0.2	0.2
5a	Lag. Chaliviri	92.5	27.5	1058	41	0.2	18.5		0.1	0.040	0.6	1873	293		105.4	0.8	0.2
6a	R.Huaylla Jara	29.6	17.6	9	30		3.2		0.2	0.003	0.2	13	44	6.3	190.2		0.1
7a	Lag.Colorada	266.0	704.0	40800	3080	0.6	593.0	0.2	0.2	1.900	5.7	79076	5285	292.0	55.4	2.6	65.0
8	Lag.Colorada	6.9	3.8	95	106	0.2	19.5			0.007	1.0	287			66.6	1.8	0.2
9	R.Quetena	19.0	5.6	7	6	0.2	4.5			0.010	0.9	26			105.4		0.0
10	Lag.Chojilla	500.0	110.0	4225	215	0.4	122.0		0.2	3.600	3.7	7422	254	70.3	34.0	0.5	3.2
11	R. Quetena	117.5	30.0	22	20	0.2	57.0			0.012	1.2	643		4.2	104.7		0.2
12	R. Grande	140.6	36.5	163	413	0.2	54.0			0.009	1.0	1510	155		231.5	2.0	0.6

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Diagnóstico de Recursos Naturales (IE, MHN, CEEDI, 1990)

Tabla 5.2: Características físico-químicas de aguas, Sudoeste de Potosí – octubre

Punto	Ubicación	Pto de muestreo	Lat.	Long.	Altitud msnm	Fecha	Hora	Temp. C	pH	Cond. mS/cm	T.S.D. mg/l	ME.S mg/l	OD, mg/l	Satur. %			
1b	L.Pastos Grandes	Sector Noroeste	21 39	67 48	4432	3-10-89	14:50	15	9.1	5.80	3470	460	6.6	104			
2	Laguna Cachi	Sector Oeste	21 44	67 57	4510	3-10-89	16:30	11	10.4	21.50	72220	3180	NSR	NSR			
3	Sol de Mañana	Tanque enfriamiento	22 23	67 54	4460	4-10-89	10:00	18	7.9	0.43	258	232	5.9	108			
4b	R. Chunchullerito	Parte media	22 32	67 37	4500	4-10-89	15:00	16	8.2	0.44	267	117	5.8	102			
5b	Lag. Chalvirí	Sector Norte	22 32	67 37	4410	4-10-89	15:30	20	8.8	21.00	12490	3300	5.6	107			
6b	R. Huaylla Jara	Próximo de la Lag. Colorada	22 10	67 47	4300	4-10-89	17:30	6	8.4	0.44	241	144	7.7	106			
7b	Lag. Colorada	Sector Sudoeste	22 10	67 47	4278	6-10-89	16:15	14	8.7	132.5	100000	13445	2.1	35			
8	Lag. Colorada	Fuente termal pozo LC2	22 10	67 47	4278	6-10-89	15:15	22	8.5	0.36	223	103	5.2	101			
9	R. Quetena	2 km de población	22 10	67 26	4185	5-10-89	16:10	18	8.9	0.19	118	80	5.7	102			
10	Lag. Chojlla	Sector Sur	22 21	67 06	4555	5-10-39	13:50	16	8.9	13.80	13700	4830	6.1	109			
13	Lag. Verde	Sector Oeste	22 48	67 48	4315	4-10-89	13:00	23	8.6	3.40	2100	492	5.3	106			
14	Lag. Hedionda	Sobre el camino	21 34	68 03	4121	7-10-89	09:00	18	8.7	22.50	66925	4197	4.5	80			
Punto	Ubicación	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe mg/l	B mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Pb mg/l	As mg/l	Ci mg/l	S04 mg/l	C03 mg/l	HCO3 mg/l	N03 mg/l	P04 mg/l
1b	L.Pastos Grandes	75.5	30	1145	143	0.2	4.8		0.2	0.045	1.9	2096	15	NSR	121.3		1.5
2	Laguna Cachi	25.0	12	24266	6556	6.4	379.2	0.1	0.1	1.300	63.0	9797	3675	17711	11302	60.5	567.5
3	Sol de Mañana	28.5	4	45.6	7	1.8	5.8		0.2	0.017	4.7	55	104	1	36.9	1.4	0.2
4b	R. Chunchullerito	34.0	8	20.8	4	0.3	9.1		0.1	0.003	2.6	45	52		127.0		0.2
5b	Lag. Chalvirí	340.0	140.5	5135	243	0.3	60.5		0.1	0.400	6.1	8163	281	63	71.1	0.4	3.1
6b	R. Huaylla Jara	34.5	18	25	6	0.1	1.1		0.1	0.015	0.4	2	14	4	207.5	0.5	0.2
7b	Lag. Colorada	210.0	512	41164	2992	0.7	303.0	0.1	0.1	2.000	51.0	48671	5916	644	14.7	2.2	57.7
8	Lag. Colorada	9.5	3	60.3	5	0.1	0.2		0.1	0.025	0.4	67	9		65.4	1.7	0.4
9	R. Quetena	19.0	4	18.25	5	0.7	1.4		0.2	0.075	0.1	14	2	16	89.8	0.1	0.1
10	Lag. Chojlla	510.0	107	4224	234	1.5	80.0		0.2	0.400	7.2	7016	102	102	152.0	0.4	7.3
13	Lag. Verde	70.8	31.5	684.5	43	0.3	21.0		0.2	0.018	3.2	1020	138	NSR	253.8	1.3	1.9
14	Lag. Hedionda	600.00	1070	15133	5094	0.5	202.7		0.2	1.500	43.0	25844	4215	364	3.7	10.5	59.6

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Diagnóstico de Recursos Naturales (IE, MHN, CEEDI, 1990)

Tabla 5.3: Características físico-químicas de aguas, Antofagasta y Sudoeste de Potosí

Refer	Nombre	Descripción	Fecha	Hora	Temp C	pH	Cond. uS/cm	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	Cl- mg/l	SO4- mg/l	HCO3- mg/l	CO3- mg/l	NO3- mg/l	Fl- mg/l	P04- mg/l	SiO mg/l	Longitud	Latitud	Altitud m
S1	Quisquiró	manantial	11/07/1994	15:30	10.1	7.5	296	4.9	2.6	41.6	3.3	41.1	31.0	33.0	58	4		4.31		67:13:49	23:12:26	4220
S2	Loyaques	manantial	11/07/1994	17:52	9.8	7.6	232	9.7	3.9	52.0	5.8	22.5	43.7	11.6	4.49			4.49		67:18:32	23:11:15	4360
R3	Limnigrafo Zapaleri	río	12/07/1994	12:11	0.3	7.8	572	0.5	4.3	55.4	10.5	69.8	25.9	69.8	24.4	3.8		3.8		67:11:41	22:53:24	4385
R4	Tributario Laguna Helada	río	12/07/1994	14:00	0.5	7.7	198	6.5	3.7	14.6	11.0	15.4	29.2	30.7	45.8					67:07:05	23:01:54	4890
S5	Arenal Laguna Helada	manantial	12/07/1994	15:10	7.8	7.8	104	3.5	1.3	8.3	5.2	11.1	16.9	6.8	28.7	3.76		3.76		67:07:27	23:04:07	4395
S6	Laguna Pampa Helada	humedal-manant	12/07/1994		5.6	8.7	226	8.7	2.3	20.2	7.0	22.2	26.3	31.1	51.9	5.81		5.81				
R7	Purifica	río	13/07/1994	11:22	8.5	8.4	2550	32.5	34.0	352.8	39.0	664.2	128.4	40.2	357	3.85	8.6	3.85	8.6	68:06:06	22:45:34	3195
R8	Baños Puritana	río	13/07/1994	12:03	24.4	8.6	2660	29.1	41.4	450.9	34.3	595.0	400.9	13.3	247.1	3.98	2.4	3.98	68:04:40	22:45:12	3140	
S9	Antiguos pobladores	manantial	13/07/1994	12:32	21.4	7.4	1730	26.2	44.0	200.6	22.5	281.7	332.4	38.9	122	4.07		4.07	68:03:10	22:42:45	3435	
S10	Fuente al pie de Torta	manantial	13/07/1994	15:30	12.7	8.0	248	8.7	11.0	14.2	3.0	8.3	32.3	68.7	103.1	9.36		9.36	67:57:16	22:27:36	4835	
R11	Tatío	río	13/07/1994	17:40	12.4	8.4	509	24.3	18.0	16.1	9.3	11.2	78.4	102.5	102.5			9.36	0.92	68:00:05	22:22:12	4255
S12	Ayquina	manantial	14/07/1994	14:15	19.	6.5	2090	56.9	33.4	24.2	29.3	31.9	13.4	378.9	378.9				68:19:0922	16:55	2930	
S13	Baños de Turi	humedal-manant.	14/07/1994	14:50	22.3	6.0	3060	57.4	43.0	487.0	51.5	807.1	101.3	245.6	411.1				68:17:03	22:14:17	3020	
S14	Cupo	manantial	14/07/1994	16:10	21.3	6.2	3150	86.0	30.0	348.9	32.7	76.5	20.7	1.14					68:18:36	22:05:43	3385	
S 15	Cabaña	manantial	14/07/1994	17:44	25.6	7.4	303	11.1	8.7	30.5	5.9	21.0	41.2	228.5	3.86	3.86			68:03:30	22:03:50	3940	
R16	Cabaña	río	14/07/1994	18:00	11.3	7.5	643	11.1	8.7	76.2	11.7	68.2	88.1	68.6					68:03:41	22:03:57	3945	
S17	Manantial Silala sur	manantial	15/07/1994	10:18	14.9	8.2	154	3.9	2.4	20.3	3.5	10.6	6.2	57.2	4.58			4.58	68:01:26	22:00:31	4400	
S18	Manantial Silala norte	manantial	15/07/1994	11:07	16.7	8.6	112	2.7	1.2	15.4	2.6	9.5	5.3	36.0	4.81			4.81	68:01:24	22:00:17	4390	
T19	Tubería Inacaliri	emisano	15/07/1994	11:56	13.7	8.6	392	7.2	5.3	20.0	4.1	9.5	8.9		8.68			8.68	68:03:49	22:03:51	4095	
S20	Ojos de San Pedro	humedal-manant	15/07/1994	13:35	23.5	6.4	1019	17.3	3.6	85.0	13.2	126.8	69.7	102	4.03			4.03	68:18:46	21:57:58	3885	
M21	Volcan Azufre	nieve antigua	15/07/1994					3.3	4.0	1.7	0.4	7.6	17.1	0.4								
S22	Frente a Licancabur	manantial	16/07/1994	10:51	14.2	7.9	844	116.0	27.0	26.8	10.8	11.2	407.1	125.6				4.64		67:47:45	22:55:44	4675
S23	Salzar Pulsa	humedal-manant.	16/07/1994		7	7.4	1350	21.9	21.0	132.0	17.0	142.9	112.9	159.5	4.36			4.36				
R24	Peña Blanca	río	16/07/1994	12:17	0.2	7.5	354	59.4	5.5	14.5	3.6	9.7	130.4	49.7				9.7		67:34:23	23:04:56	4605

Fuente: Chaffaut (1998)

Tabla 5.4: Conductividad, pH y temperatura, Antofagasta y Sudoeste de Potosí

Refer.	Nombre	Descripción	Fecha	Hora	Longitud	Latitud	Altitud m	Temp C	pH	Cond. uS/cm
S47	Manantial Silala Nord	manantial	21/12/1994	14:00	68:01:16	22:00:13	4400	15.9	7.3	85
S54	Afluente este Laguna Colorada	manantial	23/07/1995	12:00	67:40:20	22:10:05	4575	16.9	7.1	115
S75	Afluente Aguas Calientes este	manantial-río	25/02/1996	12:20	67:27:59	22:29:49	4350	20.1	6.9	421
Rzap	Río Zapaleri, frontera Argentina	río	24/03/1993			4430	4430	14.0	8.4	330
R44	Río Linzor (al nivel de Represa)	río	01/03/1995	10:35	68:01:26	22:13:44	4050	23.1	7.1	409
R45	Río Toconce (al nivel de Represa)	río	01/03/1995	11:00	68:00:35	22:14:10	4105	21.6	8.5	625
R69	Río Quetena, arriba Quetena Grande	río	25/02/1996	11:15	67:22:43	22:20:37	4170	8.6	7.4	168
Rsan	Río San Antonio	río	04/11/1995	14:00	67:18:47	22:10:33	4185	17.9	7.4	1723

Fuente: Chaffaut (1998)

6. USO DEL AGUA E IMPACTOS AMBIENTALES

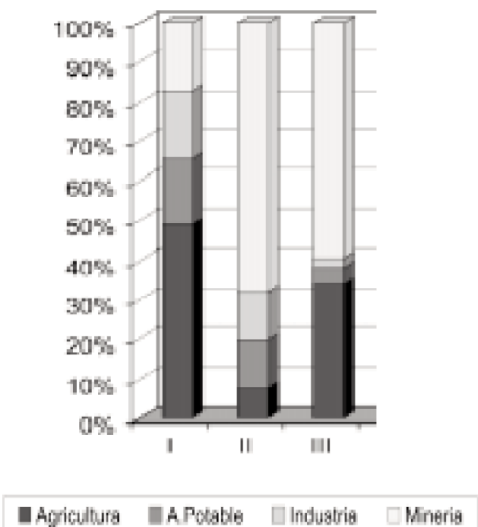
6.1 Uso del agua en el norte de Chile

Pourrut y Covarrubias estimaron en 8000 l/seg la extracción de agua en la región de Antofagasta para el año 1995, de la que un 60% se destinaba a la minería, la principal actividad económica de la región. Casi toda esa agua tiene un uso consuntivo, es decir es consumida (se evapora a la atmósfera) y en su mayor parte no regresa a los cauces. Una parte del agua destinada a uso consuntivo puede volver al cauce de origen en forma localizada o difusa. El uso no consuntivo se refiere al uso de aguas sin consumir el recurso, como es el caso de las centrales hidroeléctricas. El agua es devuelta a su cauce en la misma cantidad, aunque con frecuencia en un tiempo diferente al estado natural.

Chaffaut (1998) estimó en 12 m³/s (12000 l/seg) el caudal captado en la región de Antofagasta, de los que 9 m³/s (75%) se destinaban a la minería y el resto, al uso urbano (Antofagasta, Calama, Tocopilla, etc) y en menor grado al riego, tanto el moderno como el tradicional de las etnias atacameñas. Las grandes diferencias entre los datos proporcionados por varios autores se deben, según Chaffaut, a que con frecuencia los datos de oferta y uso del agua en el norte de Chile no son accesibles por la extremada "sensibilidad económica" del tema. Según Orrego (2002) "en Chile se detecta una actitud defensiva de todas las partes involucradas respecto al acceso a la información sobre aguas y contaminación hídrica. El sector privado maneja la información como reservada y confidencial, y nada obliga a los establecimientos industriales y mineros a transparentar voluntariamente información sobre la contaminación que pudiesen estar generando. Llama la atención que la Corporación Estatal del Cobre (CODELCO), en este sentido, funciona como un privado, al manejar con particular reserva la información sobre los impactos ambientales de sus faenas mineras".

Según datos de la DGA de 1999, citados por Bravo et al (2004), más del 70% del uso consuntivo en la II Región de Antofagasta se destinaba a la minería, siguiendo en orden decreciente, la industria, el agua potable y la agricultura (ver figura adjunta). La situación era significativamente diferente en la I Región de Tarapacá, donde el principal sector consumidor era la agricultura (45%), seguido por la minería, con aproximadamente un 20%.

El Balance Hídrico de Chile (DGA, 1987, citado por Orrego, 2002) estimó en 21 m³/s el agua que escurre en la I y II regiones, que para los datos de población de 2004 (ver subcapítulo 2.2) equivale a una disponibilidad de agua de 880 m³/hab-año, por debajo del límite de 1000 m³/hab-año, que Shiklomanov (1997) define como catastróficamente bajo. Se estima que en la II región de Antofagasta la disponibilidad es aún más baja: alrededor de 500 m³/hab-año. Para el conjunto del país, Shiklomanov



(1997) estimó en 25000 m³/hab-año la disponibilidad de agua el año 1995, valor muy influenciado por las cuencas hiperhúmedas de la XI y XII regiones en el sur chileno.

Según la DGA, (citado por Orrego, 2002), en 1999 los usos consuntivos en Chile equivalían a un caudal continuo de alrededor de 650 m³/s, de los 84.5% corresponde al riego, 4.4% a agua potable, 7.7% a la industria y 5%, equivalentes a un caudal continuo de 32.5 m³/s, a la minería. En relación a su población, los volúmenes de aprovechamiento en Chile figuran entre los más altos de América Latina. Por la escasez de agua en el norte, existe una fuerte competencia entre sectores usuarios, primando normalmente la vocación eminentemente minera de la región.

Prácticamente todas las fuentes de agua de la región de Antofagasta son de origen subterráneo. Por su caudal, las fuentes más importantes están situadas en las cabeceras de los afluentes del río Loa, es decir en la cordillera y muy cerca de la frontera con Bolivia. Así por ejemplo, el manantial de Ojos de San Pedro y el curso de agua de río San Pedro Inacaliri (ver figura 4.1) proporcionaron en 1994 un caudal medio de 1150 l/s para abastecer a la mina de Chuquicamata de CODELCO y la ciudad de Calama. El caudal natural del manantial fue incrementado por CODELCO mediante perforaciones realizadas para explotar los acuíferos confinados situados bajo la napa freática (Chaffaut, 1998). El caudal explotado aumentó progresivamente y en 1997 superaba los 1300 l/s. A la misma cuenca pertenecen los manantiales del Silala, que nacen en territorio boliviano, pero cuyo caudal se contabiliza aparte. Los afloros realizados dan valores entre 150 y 250 l/s para los manantiales situados en Bolivia. Existen vertederos de medición instalados por la compañía chilena que explota esas aguas, pero esos datos no son de acceso público. Existen otros manantiales que afloran en el lado chileno de la frontera que con los anteriores son colectados en una tubería de 500 mm de diámetro. En 1995 se realizaron perforaciones en la cuenca, a 4200 m de altura, que proporcionan un caudal adicional estimado por Chaffaut (1998) en 50 a 100 l/s.

Para 1997 se estimaba en 1200 a 1500 l/s el agua extraída de la cuenca del río Salado (ver figura 4.1). Las fuentes más importantes se encuentran en la subcuenca de Linzor, que comprende las áreas de aporte de los cursos de agua denominados Linzor y Toconce, que se originan en manantiales muy próximos a la frontera con Bolivia. El "río" Toconce se origina en la cara occidental del volcán Linzor. CODELCO y ESSAN (Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta, encargada de la provisión de agua potable para la II región) construyeron la represa Toconce a 4100 m.

En la cuenca del salar de Atacama, el consumo de agua para uso minero se estimaba en 438 l/s el año 2000 (Bravo et al, 2004), a los que debe añadirse 400 l/s que la Empresa Río Chilex proyectó extraer de fuentes subterráneas. Sin embargo, extraerá en el Salar de Atacama Varias empresas mineras se abastecen de agua de fuentes subterráneas ubicadas en la cordillera, como el área de Laikakota para la mina de Doña Inés de Collahuasi (Agua Altiplano, 2004).

Prácticamente todas las fuentes de agua de la región de Antofagasta son de origen subterráneo. Por su caudal, las fuentes más importantes están situadas en las cabeceras de los afluentes del río Loa, es decir en la cordillera y muy cerca de la frontera con Bolivia. Así por ejemplo, el manantial de Ojos de San Pedro y el curso de agua de río San Pedro Inacaliri (ver figura 4.1) proporcionaron en 1994 un caudal medio de 1150 l/s para abastecer a la mina de Chuquicamata de CODELCO y la ciudad de Calama. Prácticamente todas las fuentes de agua de la región de Antofagasta son de origen subterráneo. Por su caudal, las fuentes más importantes están situadas en las cabeceras de los afluentes del río Loa, es decir en la cordillera y muy cerca de la frontera con Bolivia. Así por ejemplo, el manantial de Ojos de San Pedro y el curso de agua de río San Pedro Inacaliri (ver figura 4.1) proporcionaron en 1994 un caudal medio de 1150 l/s para abastecer a la mina de Chuquicamata de CODELCO y la ciudad de Calama. Las aguas efluentes de actividades mineras tenían que ser eliminadas en lagunas de evaporación. Sin embargo, en algún caso como el de Calama, es necesario tratar aguas con alto contenido de arsénico para volverla potable.

Las inversiones mineras proyectadas y en ejecución para el periodo 2000-2010, requieren de una cantidad adicional de agua, del orden de varios miles de litros por segundo. La subida de la demanda de cobre, especialmente en Asia, junto con la subida del precio del mineral, no hacen más que confirmar la magnitud de esas inversiones y la demanda de agua consiguiente.

6.2 Los impactos ambientales

Los impactos más importantes de la extracción de agua para actividades mineras en el Norte de Chile, según Orrego (2002), son la degradación de bofedales y vegas, la desecación de lagunas altoandinas y humedales, los efectos sobre áreas silvestres protegidas habitadas por comunidades indígenas y, desde el punto de vista cultural y debido a los anterior, la emigración de comunidades indígenas Aymaras y Atacameñas a centros urbanos.

Respecto al tema de los caudales ecológicos, definidos por la DGA como el caudal mínimo de agua que se requiere conservar en el cauce natural, de forma de asegurar la supervivencia de los diversos componentes y funciones de los ecosistemas acuáticos, se tropieza con el problema de que los derechos de agua concedidos según el Código de Aguas de Chile de 1981 son anteriores a la ley de medio ambiente de 1994. Los derechos de agua ya concedidos no dan lugar a asegurar un caudal mínimo por razones ecológicas; pudiendo los usuarios del agua literalmente agotar las fuentes y cauces. En la región de Antofagasta, la demanda y los derechos de agua concedidos superan el agua disponible naturalmente y es cada vez más frecuente el reuso.

El Código de Aguas, establecido durante la dictadura, no establece ninguna forma de evaluar el efecto que un derecho o transacción de aguas pueda tener sobre el medio ambiente en el corto, mediano y largo plazo, o sobre los derechos constitucionales de las personas y de los pueblos indígenas. Agua Altiplano (2002) cita varios ejemplos de los impactos ambientales que se han producido en la región:

La laguna de Paine se secó por el uso industrial minero de aguas subterráneas. El Salar de Punta Negra se secó, a causa de la explotación del agua por la minería y actualmente la empresa reemplaza superficialmente las aguas perdidas mediante pozos de mitigación o reposición. La comunidad de Toconao quedó sin agua por la explotación minera. Las extracciones en la subcuenca del río Salado y el entubamiento de los Ojos de San Pedro en la subcuenca de San Pedro Inacaliri redujo el caudal del río Loa a menos del 15% de su valor original, perdiéndose flora y fauna, además de grandes extensiones de tierras aptas para la agricultura. El Salar de Ascotán, cuya cuenca es compartida con Bolivia, está seco por el uso de aguas superficiales y subterráneas

Los indígenas declararon también que los bofedales se van secando paulatinamente, por lo que la ganadería de camélidos se ve muy afectada. Esta pérdida de bofedales, se da principalmente por la explotación de aguas subterráneas. La comunidad de Quillahua fue extinguida gracias a la explotación casi total de la cuenca del río Loa. Esta comunidad esencialmente agrícola, se dispersó por falta de agua y por la desertificación de sus suelos. Actualmente los pocos habitantes del lugar, deben traer en cisternas el agua para el consumo del ganado, ya que la poca agua que queda en el río está tan contaminada que los animales enfermarían si bebieran de ella.

La contaminación de las aguas de ríos y acuíferos es otro impacto asociado a los efluentes mineros y, en menor grado, a los efluentes urbanos. Se tienen múltiples ejemplos citados en la literatura. Orrego (2002) menciona que en la cuenca del Río Loa se detectaron ocho fuentes de contaminación, entre las más importantes la descargas de aguas servidas del alcantarillado de Calama y el tranque de relave de CODELCO Chuquicamata, que contaminaban acuíferos. La descarga de aguas servidas de Calama, que originalmente no eran tratadas, alcanzaba a 134 l/s, afectando, con contaminación química, física y bacteriológica, importantes superficies de agricultura de riego. De acuerdo a información más reciente (2002), las descargas, de 143 l/s, son tratadas en una planta de lodos activados y las aguas tratadas, con una carga orgánica DBO5 de 158 ton/año, son vendidas a agricultores.

En la cuenca del Loa han ocurrido graves episodios de contaminación relacionados con las faenas mineras. Según Gentes (1996), *trece mil litros de ácido sulfúrico se escurrieron desde un embalse de lixiviación de la mina El Abra, perteneciente a la estatal CODELCO, alcanzando las aguas del Río Loa. La empresa recién dio aviso a las autoridades once días después del hecho. "No obstante el factor contaminante del ácido sulfúrico, otras instancias llevaron finalmente a CODELCO al pago voluntario de una suma insignificante." En marzo de 1997 se detectó nuevamente contaminación en 80 Km del Río Loa. CODELCO e instancias oficiales la atribuyeron a causas naturales. Se constató contaminación con xantato, un producto químico utilizado en la lixiviación del cobre. El día 14 de mayo de 1997, la derivación de varios miles de litros de químicos ... causó la muerte masiva de peces a la altura del tranque slogan. Las empresas mineras de la cercanía (Chuquicamata, El Abra, Enaex, Soquimich) negaron cualquier responsabilidad en los hechos.... Al final, el caso no trajo consecuencias legales ni materiales mayores para las empresas mineras".* (Casos citados por Orrego, 2002).

En noviembre de 1997 se abrieron las compuertas del tranque Sloman y miles de litros de aguas contaminadas con relaves escurrieron hacia áreas de cultivo, a la altura de Quillagua. Recién entonces se descubrió que la autorización entregada a CODELCO para el uso del tranque era ilegal. En enero de 1998, debido a la escasez de agua para el riego, vecinos de Quillagua abrieron las compuertas del tranque Sloman, produciéndose un derrame de relaves, al Río Loa, de grandes proporciones, con contenido de plomo, arsénico, magnesio, mercurio, cobre y hierro sulfúrico. "Esta vez lo ocurrido tuvo un trasfondo socio jurídico: algunos vecinos de Quillagua (alrededor de 200 personas) habían vendido sus derechos de aprovechamiento del agua a la empresa SOQUIMICH y, debido a la escasez del recurso, tomaron esa medida de urgencia. El Estado optó en este caso por volver a comprar los derechos de aprovechamiento de la SOQUIMICH, a través de la DGA. Gentes concluye que "En definitiva, los casos de contaminación descritos no originaron ningún tipo de consecuencias políticas ni económicas. El río Loa y sus habitantes no tuvieron quién los defendiera exitosamente. Lo que quedó fue el indulto a los responsables y el discurso político oficial que culpó a las causas naturales" (Casos citados por Orrego, 2002).

El Consejo Minero, agrupación de las grandes empresas mineras de Chile, admite esas desastrosas consecuencias ambientales, "que se mantuvo sin variaciones hasta el proceso de expansión de la minería nacional iniciado en los '90. Las necesidades de incrementar la producción y las ganancias hicieron subestimar los efectos que las actividades mineras podían provocar en el medio ambiente. Debido a la carencia de políticas y de normas nacionales, algunas empresas extranjeras adoptaron las legislaciones de sus países de origen". (www.consejominero.cl).

En 1994 se promulgó la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ley Nº 19.300), que creó la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, ente coordinador de la institucionalidad ambiental y dio origen a una serie de instrumentos –administrados por ella–, tales como las normas de calidad y de emisión, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y los Planes de Descontaminación. En 1997 entra en vigencia el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, adquiriendo esta herramienta un carácter obligatorio. Según el Consejo Minero, el desempeño ambiental de las empresas socias se ha caracterizado por el cumplimiento irrestricto de toda la normativa ambiental vigente en Chile y por la evaluación ambiental de todos sus proyectos en forma previa a su ejecución.

6.3 Demanda y mercado del agua en Chile

El Proyecto de Comercialización y Exportación de Agua Cruda a la República de Chile, elaborado por la Corporación Boliviana de Recursos Hídricos (COBOREH S.A., 2000), demuestra por sí mismo la existencia de una demanda y un mercado de aguas en el Norte de Chile. El Proyecto de la COBOREH S.A. estaba orientado a satisfacer la demanda del sector minero del norte chileno. Los clientes específicos identificados por el proyecto son las empresas mineras Doña Ines de Collahuasi, La Escondida, RioChilex S.A., CODELCO – Chile y Essan–Chile (Agua Altiplano, 2002). Para satisfacer los requerimientos de esos clientes COBOREH proyectó

exportar desde Bolivia 800 litros/segundo en una fase inicial, que se incrementarían hasta 3000 litros de agua por segundo en una fase posterior, siendo la fuente acuíferos subterráneos que se explotarán a través de un campo de pozos.

En su momento (La Segunda, 7/III/2002, p 2), la demanda potencial adicional de la Primera y Segunda Regiones fue estimada en valores muy superiores a 3000 litros/segundo, debido al aumento de la producción minera de Chile, especialmente de cobre. Esa demanda, junto con la escasa oferta y el enorme monto de las inversiones y valor de la producción minera, significa que el precio del agua en el Norte de Chile es ya alto y tiende a subir con el tiempo. COBOREH realizó sus proyecciones en base a un precio de venta de alrededor de 1 U\$/m³ de agua puesto en Chile. Para los 20 años del proyecto con caudales de exportación variables entre 800 y 3000 litros/seg, ese precio se traducía en ingresos brutos del orden de 1788 millones de dólares (Agua Altiplano, 2002).

Como ese proyecto de exportación no se concretó y en cambio, la producción minera (y su valor) de la Región de Antofagasta aumentó mucho en el periodo comprendido entre 2000 y 2005 (ver capítulo 2), las empresas mineras se vieron obligadas a satisfacer su demanda de agua mediante diversas formas, entre las que se encuentran la explotación de nuevas fuentes de agua, generalmente subterráneas y a un costo considerable, y la mejora en la eficiencia del uso del agua en las operaciones mineras.

En la minería del cobre el agua se utiliza fundamentalmente en el riego de caminos, en el proceso tradicional de concentración por flotación, seguido de fusión y electrorefinación, o en el proceso hidrometalúrgico el que consta de lixiviación-extracción por solventes- electroobtención (Lagos, 1997). El consumo medio de agua por tonelada de cobre fino producido era del orden de 180 a 200 m³ en 1997, siendo más alto en las minas más pequeñas que usaban métodos tradicionales. Las cifras disponibles para minas recientemente inauguradas.

La mayor pérdida de agua en la minería del cobre se produce a partir de la no reutilización del agua de los tranques de relaves, durante el proceso de concentración. Del total de agua que ingresa a una planta concentradora, generalmente más del 95 por ciento va a dar al tranque de relaves. De todos los procesos de recuperación, es este en donde hay mayor potencial de aumento de eficiencia y ahorro en el consumo en la actualidad. Las eficiencias logradas en Chile varían, para el caso de las grandes minas, entre 30 y 84% y son aún más bajas en minas pequeñas. En general, las grandes minas nuevas son las más eficientes. Por esto, su potencial de ahorro futuro no es tan importante como en otros sectores de la minería, en donde el consumo es mucho mayor. "Para una empresa minera mediana o grande sería mucho más rentable invertir en una agricultura más eficiente en el uso del agua y comprar o utilizar los derechos sobrantes después de logrado el ahorro. Entre los aspectos que es conveniente normar es la utilización de aguas con altos contenidos de algunos metales y sales, en ciertos cultivos. Estos factores serán cruciales para el desarrollo futuro de la economía del norte de Chile" (Lagos, 1997).

No hay duda que las condiciones descritas favorecen la alternativa de compra de agua del suroeste de Potosí. Además la compra y comercialización de agua se ven favorecidas por el marco legal (Código de Aguas) y por la experiencia de más de 20 años de aplicarlo en Chile. Muchos derechos de agua están en manos de empresas privadas, que los negocian como una mercancía más de la que obtienen grandes ganancias. Ese es el caso de las aguas del Silala, cuya comercialización está en manos del grupo Luksic (ver recuadro). El poder económico y político de esos grupos chilenos y transnacionales es grande y su capacidad de presión y cooptación se hace evidente en la frecuencia con que surgen en Bolivia impulsores de leyes y proyectos de exportación de agua al Norte de Chile.

La posición actual de Chile sobre los manantiales del Silala

Un trabajo escolar cuyos autores son dos estudiantes de un colegio de Antofagasta, asesorados por su profesora y un profesor de la Universidad Católica del Norte, revela la posición actual de Chile sobre las aguas de los manantiales del Silala o Siloli. El trabajo, cuyo título es "SILALA, UN SÍMBOLO DE VIDA EN EL DESIERTO MÁS ÁRIDO DEL MUNDO", ganó un reciente concurso (2006) auspiciado por la Dirección General de Aguas de Chile, y luego fue presentado en Estocolmo. Se transcribe algunas partes de ese artículo:

"Entre las posturas chilenas ante este conflicto, cabe destacar la opinión del señor Hugo Alonso Carballo Ingeniero - Ph. D. en Ciencias de la Tierra, Profesor titular de la Universidad Católica del Norte, quien señala que Chile ha utilizado el recurso hídrico del Silala en forma óptima, considerando que es un símbolo de vida en esta zona, más aún si se trata del desierto más árido del planeta. Además señala que hidrológicamente todas las vertientes de la zona provienen de aguas subterráneas que escurren siguiendo la cota menor. A simple vista se puede ver que no existe canalización del río en la zona boliviana, que estas aguas avanzan naturalmente por una quebrada que en Chile llamamos Quebrada San Pedro de Inacaliri. En la frontera chilena es canalizado tanto su parte superficial como la subterránea por acueductos y piscinas de aforo. Existen tres bocatomas; dos de ellas pertenecen a la empresa del Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia. Éstas captan la mitad del caudal distribuyendo el agua hacia algunos poblados de la región (350 Km de distancia). La tercera bocatoma pertenece a la compañía minera Codelco Chile y las conduce a Chuquicamata, a esta bocatoma se le conoce como Inacaliri".

Sin lugar a dudas, el Silala nace en territorio boliviano, gran parte de su caudal es subterráneo y siguiendo la menor cota avanza hacia territorio chileno, aflorando en algunos lugares donde la capilaridad del terreno lo permite. El río sigue un curso natural, debido a que se aprecia la formación de una quebrada, que comienza en territorio boliviano y que en Chile llamamos Inacaliri. Sus aguas son puras sin la presencia de metales pesados, por lo que su corte tendría consecuencias negativas para parte de la economía de nuestra región".

"Ahora, si bien, internacionalmente existen leyes de ríos transfronterizos que dicen: Las aguas que nacen en un país y que fluyen hacia el otro, son aguas compartidas (caso del río Lauca), esto no es aplicable en este caso ya que el Silala en su mayor parte es subterráneo, y no existen leyes internacionales aplicables a aguas de este tipo".

Es decir, Chile ya no sustenta que el Silala es un río de curso sucesivo, cuyas aguas deberían ser compartidas entre los dos países. Por el contrario, afirma que son aguas de origen subterráneo, lo que en su opinión les da derecho a usarlas en un 100%. El artículo no hace mención al Grupo Luksic, que comercializa las aguas del Silala, ni menciona las obras de captación existentes en territorio boliviano

6.4 Uso del agua y posibles impactos en Bolivia

El volumen usado para agua potable y minería es pequeño en el Sudoeste de Potosí y proviene casi exclusivamente de manantiales y pozos. El uso se incrementará grandemente con la entrada en operación del proyecto minero San Cristóbal (ver capítulo 7) que extraerá de fuentes subterráneas un volumen anual equivalente a un caudal continuo de 500 l/s. Los principales "usuarios" naturales de agua de la región son las lagunas y los bofedales. En realidad, es la presencia misma de manantiales y vertientes de flujo permanente la que ha dado origen a los bofedales del sudoeste de Potosí. Y todos los tipos de lagunas (ver capítulo 4) reciben directamente o indirectamente aportes subterráneos. "El sistema de aguas subterráneas, constituye un tejido interno regulador, que sostiene la humedad en el suelo externo con la manifestación de manantiales, vertientes, ríos, cuencas, lagunas y formación de humedales, que sirven de hábitat de poblaciones de avifauna y poblaciones humanas asentadas en la región" (SERGEOMIN, 2001).

Un bofedal es un humedal de altura, ecosistema presente en zonas agroecológicas de puna seca. "Es considerado una pradera nativa poco extensa con humedad permanente, vegetación siempre verde y de elevado potencial productivo" (Alzérreca, 2001, citado por Flores, 2002). La importancia de este ecosistema radica en que posee vegetación durante todo el año por que son muy aprovechados por las comunidades campesinas de la zona, ya que se constituyen en la base de la ganadería de camélidos sudamericanos como las alpacas. También, representan zonas que albergan una variedad de aves, otros animales y especies vegetales típicas del área.

Flores (2002) estimó en 22 587 hectáreas la superficie ocupada por bofedales en el oeste de los departamentos de Potosí y Oruro. Cerca del 50% de esa superficie corresponde a bofedales situados en la cuenca del salar de Coipasa, en el departamento de Oruro y un área más pequeña a bofedales situados en la cuenca del lago Poopó. De esos datos puede inferirse que los bofedales del sudoeste de Potosí ocupan una superficie próxima a las 10000 hectáreas.

Cabe esperar que los impactos de la extracción de aguas para exportación o minería en el suroeste de Potosí sean básicamente los mismos que los ya observados en el Norte de Chile, es decir:

- La disminución de la napa freática y del volumen de agua almacenado en los acuíferos
- La degradación y/o desecación de bofedales
- La desecación de lagunas altoandinas
- Los efectos negativos sobre la fauna (por ejemplo aves) que depende de lagunas y bofedales
- La reducción o desaparición local de los hatos de camélidos que dependen de los bofedales
- Los impactos socioeconómicos y culturales sobre los pobladores de la región, cuya actividad principal es la ganadería de camélidos basada en los bofedales y cuya cultura guarda estrecha relación con el agua
- La desaparición o degradación de las fuentes de agua usadas para consumo humano (pozos y manantiales) situados cerca de los puntos de extracción o que provengan de los mismos acuíferos.

El turismo también sufriría impactos indirectos, ya que las espectaculares lagunas altoandinas y la fauna que depende de ellas (como las tres especies de flamencos) están entre los principales atractivos turísticos de la región. Los manantiales, tanto termales como no termales, también forman parte de esos atractivos, además de ser las fuentes naturales de agua para cualquier infraestructura turística.

La explotación de los recursos hídricos del Sudoeste de Potosí puede generar recursos económicos para la región y el país, por lo que a priori no puede descartarse. "La explotación racional de las aguas puede generar interesantes oportunidades económicas que, inteligentemente utilizadas, beneficien al país y a las comunidades campesinas" (Agua Altiplano, 2002). Pero cualquier proyecto de explotación de esos recursos en una región que por sus características es muy sensible a cualquier cambio, obliga a considerar cuidadosamente sus impactos sociales y ambientales y su sostenibilidad ambiental, así como la puesta en marcha de mecanismos de control y monitoreo.

Como los pobladores del sudoeste de Potosí tienen una estrecha relación con el norte chileno, existe cierto conocimiento y conciencia sobre los impactos que podría causar la extracción de aguas. Además existe cierta percepción (Olivera, 2006) de que ya están en marcha cambios climáticos e hidrológicos que los haría aún más vulnerables. Uno de esos cambios es la disminución de la superficie de algunas lagunas, cuyas causas no se conocen. Existe el temor de que una de esas causas sea la explotación de recursos hídricos subterráneos en el sector chileno, que pudiera estar afectando a los acuíferos y manantiales del lado boliviano. Una resolución emanada de un encuentro entre dirigentes de organizaciones campesinas y autoridades gubernamentales (Agua Altiplano, 2002) exige "que el Estado boliviano debe asumir una defensa legal del agua ante instancias internacionales, denunciando la perforación de pozos por Chile".

7. EL PROYECTO SAN CRISTÓBAL

7.1 Descripción del proyecto y demanda de agua

El proyecto San Cristóbal representa la inversión minera más grande realizada en Bolivia en las últimas décadas. Está ubicado en el cantón San Cristóbal de la provincia Nor Lipez del departamento de Potosí (Referencias geográficas en UTM: X=686500, Y=7667000, Altitud=4000 m), 70 km al suroeste de Uyuni. La altitud varía de 3740 a 4500 m. El proyecto consiste en una explotación a cielo abierto para obtener minerales de plata, plomo y zinc, que serán procesados en una planta para producir concentrados destinados a la exportación. La empresa Minera San Cristóbal (MSC) pertenece a la empresa estadounidense Apex Silver Mines Limited (Apex).

Según la ficha ambiental, el proyecto tendrá una vida útil de 11 años y 6 meses. Durante ese periodo se estima una producción de 14 millones de onzas troy de plata, 132700 toneladas

de zinc y 39500 toneladas de plomo por año. La vida total esperada del proyecto, incluyendo el desarrollo, las operaciones, el cierre, la rehabilitación y el abandono, es de aproximadamente 22 años. Apex estimó que en plena producción San Cristóbal aportará con el 9% de la producción mundial de plata y el 3% de la de zinc (bolivia.com 3/5/04). Los componentes más importantes del proyecto son (Knight Piesold, 2000):

- Apertura de un tajo abierto de 1.6 km de norte a sur por 1.3 km de este a oeste, donde se producirán aproximadamente 40,000 toneladas métricas por día de minerales y 70,000 toneladas métricas por día de material estéril y mena.
- Construcción y operación de instalaciones de trituración, transporte y procesamiento de 40,000 toneladas/día de minerales para producir concentrados de plata, zinc y plomo.
- Construcción, operación y cierre de instalaciones para almacenar 240 millones de toneladas métricas de colas, 10 millones de toneladas de minerales apilados y 440 millones de toneladas de material estéril durante la vida útil del proyecto.
- Construcción y operación de instalaciones para alojar temporalmente a 2000 trabajadores durante la fase de construcción y por separado, a 450 empleados de las operaciones mineras.
- Construcción, operación y cierre de instalaciones de suministro de 40,000 m³/día de agua (pozos, bombas, tuberías y almacenamiento).
- Construcción, operación y cierre de instalaciones de apoyo: edificios administrativos, planta de lavado y depósito de residuos sólidos no minerales.
- Tendido de líneas de transmisión eléctrica por parte de terceros para proporcionar 50.4 megavatios
- Construcción y mejoramiento de caminos de acceso y sistema de transporte de concentrados al puerto de Tocopilla en Chile.

Para producir las cantidades previstas de plata, zinc y plomo se requerirá un suministro de agua fresca de 40,000 m³/día durante la fase de operación, equivalente a un caudal continuo de 465 litros/seg o un volumen de 14.6 millones de metros cúbicos por año. Casi todo este volumen está destinado a las operaciones mineras (proceso industrial y supresión de polvo mediante irrigación de caminos). El uso para consumo humano, previo tratamiento de desalinización mediante ósmosis reversa, representa menos del 2% de ese total.

7.2 Las fuentes y el balance hídrico

El agua requerida por el proyecto provendrá de acuíferos subterráneos. Se identificaron dos campos de pozos como posibles fuentes. El primero ubicado a lo largo del río Grande de Lipez,

al este del sitio de proyecto. El segundo campo de pozos está situado a lo largo del acuífero del río Jaukihua aproximadamente 7 km al sur de Nuevo San Cristóbal, 9 km al sur de la Planta de producción y 6 km al norte de Culpina K (Knight Piesold, 2000). El segundo campo será la fuente principal desde donde se bombeará agua para el proyecto.

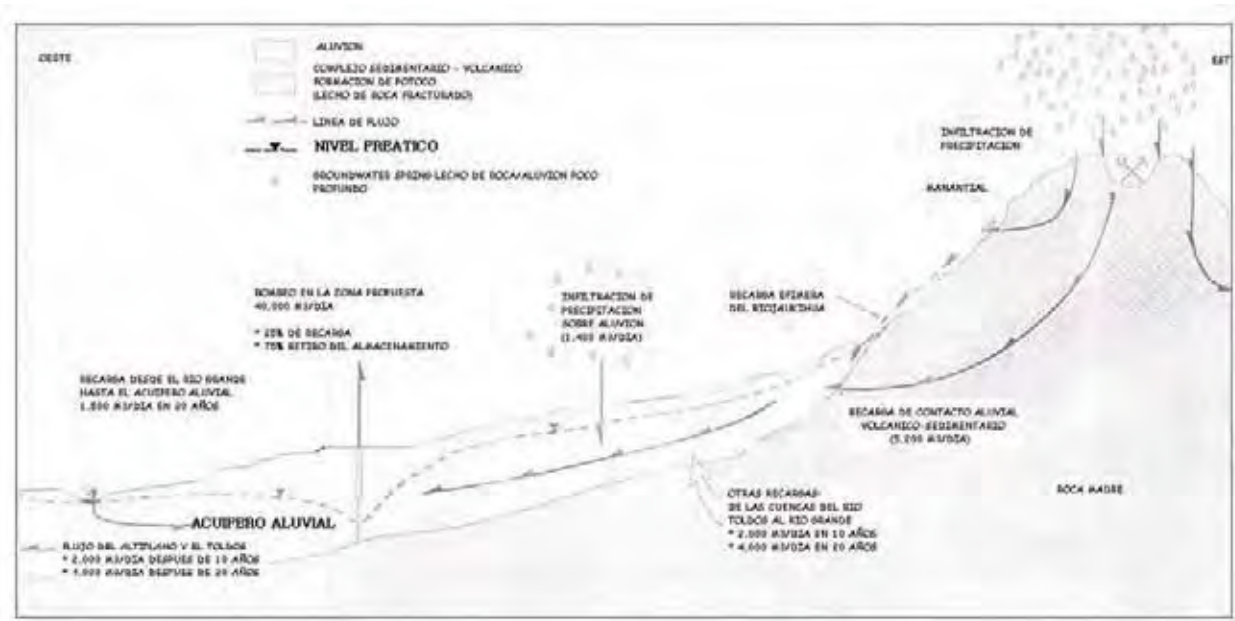
La figura 7.1 muestra la ubicación de los dos campos de pozos con respecto al futuro tajo de la mina y de las poblaciones de Nuevo San Cristóbal, Culpina K y Estancia Cruz Vinto. El fondo es una imagen Landsat en color verdadero (bandas 3, 2, 1). Como se observa en la figura, el río Jaikihua es un pequeño afluente del río Grande de Lipez. Nace en la pequeña serranía volcánica donde está situada la mina de San Cristóbal (ver figura 4.1) y corre primero en dirección sur y luego este hasta confluir con el río Grande. En su cuenca se ubican la antigua mina Ánimas y el área propuesta para almacenamiento de material estéril Sudoeste. En la cuenca próxima del río Toldos se ubican tajo abierto, el área de almacenamiento de material estéril este, la trituradora primaria y los sitios de planta. Los ríos Jaikihua y Toldos son intermitentes. El área total de la cuenca del río Jaikihua ha sido estimada en 62.48 km². El punto más alto de ambas cuencas está a 4524 m y el más bajo, en la confluencia con el río Grande a 3740 m.

Figura 7.1: Ubicación de fuentes de agua para la mina San Cristóbal



La figura 7.3 muestra un esquema del acuífero Jaikihua en explotación (Knight Piesold, 2000). El nivel freático superficial se abate (disminuye) debido a la extracción de agua. El abatimiento es más grande alrededor de los pozos. El flujo hacia el altiplano disminuye y el flujo hacia el río Grande se invierte. Además se estima que en la situación con proyecto la recarga desde las cuencas de los ríos Grande y Toldos aumentará significativamente.

Figura 7.3: Esquema del flujo subterráneo en la situación con proyecto



Fuente: Knight Piesold, 2000

Balance hídrico

La tabla 7.1 muestra el balance hídrico del acuífero Jaikihua con y sin proyecto. Para obtener ese balance y pronosticar los efectos del bombeo, se usó el modelo MODFLOW y la información recopilada y procesada por Knight Piesold (2000). Los datos de las figuras 7.2 y 7.3 corresponden a los de la tabla 7.1.

Tabla 7.1: Balance hídrico diario con y sin proyecto (m3/día)

Componentes del Balance Hídrico	Estado sin proyecto	Estado con proyecto	
		10 años	20 años
Recarga			
Río Jaikihua (efimero)	3250	3250	3250
Contacto Volcanico-sedimentario/Aluvial	5200	5200	5200
Precipitación sobre el material aluvial	1400	1400	1400
Río Grande*	-300	1500	1500
De las cuencas de los ríos Toldos y Grande	1000	2000	4000
Recarga total	10550	13350	15350
Descarga			
Descarga hacia el altiplano	11000	3700	0
Extracción por bombeo desde los pozos	0	40000	40000
Descarga y bombeo total	11000	43700	40000
Agua retirada del depósito acuífero		29800	24858

*Recarga negativa del río Grande en el estado sin proyecto significa descarga del acuífero hacia ese río

Fuente: Knight Piesold (2000)

Para el estado sin proyecto, el resultado más importante es que existe una recarga proveniente principalmente de las precipitaciones: las aguas del río Jaikihua, el contacto volcánico/aluvial y la precipitación sobre el material aluvial son consecuencia, directa o indirecta, de las lluvias que se producen en la estación húmeda. En conjunto representan (3250+5200+1400=9850) más del 90% de la recarga estimada. Casi toda la descarga, excepto por un pequeño aporte al río Grande, fluiría hacia el Altiplano.

Para el estado con proyecto, el resultado más destacable es que el caudal a extraer por bombeo (40,000 m³/s) es mucho mayor que la recarga. En consecuencia, el acuífero se va “vaciano” (su volumen disminuye) a lo largo de los 20 años del proyecto. La simulación indica que el vaciado o agotamiento es más lento después de los 10 años porque la recarga desde los acuíferos de las cuencas de los ríos Toldos y Grande aumenta significativamente. Este resultado tiene también importancia, ya que evidencia que el acuífero Jaikihua no está aislado y que debido a la extracción, recibirá aguas de los acuíferos próximos, cuyo balance hídrico también será afectado. Además las aguas que ingresarán al acuífero Jaikihua pueden no ser de las mismas características físico-químicas.

Un trabajo más reciente (MSC, 2006) muestra valores algo diferentes del balance hídrico y no incluye recargas provenientes de los acuíferos Toldos y Grande. Además presenta resultados en forma de valores medios anuales y para el periodo de vida del proyecto. La tabla 7.2 muestra esos resultados. Se observa que toda la recarga proviene directa o indirectamente de la precipitación y representa solamente un 22% de la extracción por bombeo para las actividades mineras. El restante 78% representa el vaciado del acuífero.

Tabla 7.2: Balance hídrico del acuífero Jaikihua, con proyecto

Componentes del Balance Hídrico	Diario m³/día	Anual Mn³/año	Vida proyecto Mm³
Recarga			
Río Jaikihua (efimero)	3250	1.2	199.89
Contacto Volcanico-sedimentano/Aluvial	4200	1.5	25.70
Precipitación sobre el material aluvial	1400	0.5	8.57
Recarga total	8850	3.2	54.16
Descarga			
Extracción por bombeo	40000	14.4	244.80
Agua retirada del acuífero	31150	11.2	190.40

Fuente: MSC (2006)
Mm³=Millones de m³

Debido a que la recarga proviene de la precipitación, el balance que se presenta en las tablas 7.1 y 7.2 es sensible a la magnitud de las lluvias en San Cristóbal. Los responsables del estudio hidrogeológico (Apéndice M del Proyecto San Cristóbal) usaron una precipitación promedio de 323 mm/año en la parte alta de la cuenca del río Jaikihua, donde se encuentra el sistema rocoso volcánico sedimentario (ver figura 7.2 y 7.3) y una precipitación de 300 mm/año sobre el material aluvial. Según el estudio, una parte importante (>25%) de la precipitación que cae sobre el complejo rocoso se infiltra y descarga hacia elevaciones más bajas. En cam-

bio una pequeña fracción (<5%) de la precipitación que cae en el material aluvial se infiltra hacia el acuífero subterráneo.

La figura 3.4 muestra que San Cristóbal está ubicado en la franja de precipitación entre 150 a 200 mm/año. Al parecer los autores del Apéndice M (Knight Piesold, 2000) sobrestimaron la precipitación en la zona de proyecto, al usar los datos de la estación de San Pablo de Lípez, donde llueve bastante más, como se ve en la figura 3.4 y tabla 3.1. Como consecuencia de ese error, la recarga muy probablemente esté sobrestimada y el ritmo de vaciado del acuífero será más rápido que el estimado en la tabla 7.2. El volumen de agua retirada del acuífero durante los 17 años de vida útil del proyecto podría acercarse a los 244.8 millones de metros cúbicos que se extraerán por bombeo, que a su vez es casi igual al volumen total del acuífero (250 millones m³). Tal vez previendo esa posibilidad, los autores del estudio indican que "el balance hídrico es dependiente de los ciclos atmosféricos de largo plazo (es decir, años de sequía o lluviosos). Por lo tanto, debe realizarse un monitoreo continuo del acuífero para evaluar los efectos ambientales relacionados con el bombeo" (Knight Piesold, 2000).

Como una forma de reducir los volúmenes de agua a extraer, MSC (2006) ha previsto la posibilidad de reusar un 50% del agua para consumo industrial, mediante recirculación a partir del tercer año de operaciones. Si esto se lleva a cabo, el volumen total a extraer del acuífero se reduciría a 137 millones de metros cúbicos durante los 17 años de vida útil.

Calidad del agua

Según MSC (2006), la calidad del agua subterránea del acuífero Jaikihua corresponde a la clase D del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, debido ante todo a su alto contenido de sales, que no la hace apta para agua potable, riego, acuicultura y consumo de ganado, pero sí para uso industrial minero. Para evaluar la calidad del agua, se monitorearon 4 pozos situados junto al curso de agua superficial.

Los datos presentados por la empresa muestran que en las cabeceras del río Jaikihua (pozo PRJ-4), el contenido promedio de sales disueltas es del orden de 1200 mg/l, con un pH neutro. Las concentraciones de calcio (100-150 mg/l) y de sulfatos (300-400 mg/l) pueden derivar de la oxidación minerales sulfurosos o de la disolución de yeso (Knight Piesold, 2000). En el pozo PRJ-3, dos kilómetros más abajo, el contenido promedio de sales disueltas es del orden de 1600 mg/l. Un valor similar se registra en el pozo PRJ-2 situado río abajo. El agua del pozo PRJ-1, situado en el nivel más bajo y próximo al río Grande de Lípez, presenta un contenido promedio de sales por encima de 2100 mg/l, valor similar a las aguas del acuífero de ese río.

Se observa que la concentración de boro (entre 1.5 y 4 mg/l) en el agua de los pozos Jaikihua excede la norma boliviana, pero es considerablemente inferior al río Grande y sus acuíferos asociados. La concentración de litio en el acuífero Jaikihua (alrededor de 0.5 mg/l) es muy inferior a la del río Grande de Lípez. Se detectaron concentraciones de algunos metales (hierro,

cobre, plomo) por encima de las normas OMS y de la clase C boliviana en las cabeceras de los ríos Jaikihua y Toldos, atribuibles a los efluentes de la mina Toldos, con los valores más altos registrados durante y después de eventos lluviosos. En las aguas superficiales y subterráneas se detecta también aluminio, elemento presente en el área mineralizada. La concentración de arsénico (≈ 0.14 mg/l), elemento frecuente en regiones volcánicas, excede la norma boliviana en el pozo PRJ-1 situado cerca al río Grande de Lípez. En el resto de los pozos, las concentraciones son modestas (0.03-0.05 mg/l).

7.3 Impactos ambientales

De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental (Knight Piesold, 2000), los impactos ambientales de la extracción de agua del acuífero Jaikihua son los siguientes:

- Descenso del nivel del agua en el acuífero Jaikihua y adyacentes.
- Descenso del nivel del agua en los pozos municipales de abastecimiento de Estancia Cruz y Culpina K.
- Disminución del flujo de agua en el río Grande de Lípez
- Posible incremento en el contenido de sales (sólidos disueltos) y de varios elementos del agua subterránea, con el consiguiente deterioro de su calidad.

Para evaluar el descenso del nivel de agua, se modeló el acuífero aluvial de Jaikihua como un sistema no confinado, usando MODFLOW. Los parámetros requeridos por el modelo se obtuvieron de los estudios geofísicos y las pruebas de bombeo. Para estimar la recarga se usaron los datos de precipitación de San Pablo de Lípez. Después de 10 años de bombeo, el modelo pronostica un descenso del orden de 50 m en el nivel del agua en el sector de los pozos, de 11 m en el pozo comunitario de Estancia Cruz al sur y de aproximadamente 4 m en el área del pozo comunitario de Culpina K (ver figura 7.1 para ubicación geográfica). En el sector próximo al río Grande se produciría un descenso del nivel de agua de aproximadamente 4 m. Los efectos potenciales se extenderían a las cercanías de Nuevo San Cristóbal, donde los niveles freáticos se reducirían 5 m.

Después de 20 años de bombeo (ver figura 7.4) el descenso del nivel del agua en el campo de pozos estaría próximo a los 90 m, sería de 24 m en el sector de Estancia Cruz, de 17 m en el pozo comunitario de Culpina K y cerca a 10 m en Nuevo San Cristóbal. En el sector del río Grande de Lípez, el descenso sería de 15 m.

Como se indicó anteriormente, los datos de precipitación que sirvieron de entrada al modelo fueron sobrestimados. Como consecuencia, es muy probable que la recarga también haya sido sobrestimada y **los descensos del nivel de agua en el acuífero sean más grandes y ocurran en tiempos más cortos que los pronosticados por el EIA**. El agotamiento del

Para la comunidad de San Cristóbal se instaló un sistema de colección y distribución desde la vertiente Montes Claros (73,500 litros/día), se mantuvo la vertiente de Antiguo San Cristóbal (30,000 litros/día) y se mejoró la antigua toma en el río Jalanta. Las vertientes y aguas superficiales se usan no solo para consumo humano, sino para consumo de animales domésticos y silvestres y para riego (MSC, 2006). Con respecto al pozo de Estancia Cruz, el EIA considera derivar agua desde la nueva tubería de Culpina K o reemplazar el pozo-bomba existente, de tal manera que el flujo sea al menos comparable al actual.

Según el EIA, no se espera que el caudal de las vertientes que abastecen a Culpina K y Nuevo San Cristóbal (Oveja Cancha, Montes Claros, etc.) sea afectado por el bombeo, porque esas vertientes se ubican sobre un sistema hidrogeológico distinto (acuífero de roca) a mayor elevación que el acuífero aluvial de Jaikihua. La recarga principal del acuífero de roca sería la lluvia que se infiltra en las fracturas de la roca, que tiene comunicación hidráulica limitada con el acuífero aluvial. Además los manantiales no se encuentran en la cuenca de captación superficial del río Jaikihua, sino en cuencas adyacentes. En caso de reducción del caudal de esas fuentes, la empresa se hará cargo de abastecer de agua a las comunidades afectadas.

Según el PASA (Knight Piesold, 2000) la empresa llevará a cabo un programa de monitoreo de los niveles de agua de todos los pozos existentes en el área de influencia. Antes del momento en que aparezcan impactos adversos, se negociará un reemplazo adecuado del suministro de agua o se proporcionará una compensación adecuada de acuerdo común.

Como consecuencia de la extracción de agua del acuífero, el flujo natural hacia el río Grande se invierte, produciéndose una recarga desde el río Grande y la consiguiente disminución del caudal de ese río, en un orden del 3 al 13% considerando los caudales medidos durante el año 1997-98, que fue relativamente seco (Knight Piesold, 2000). El impacto es considerado de baja magnitud y no se prevén medidas de mitigación.

Otro posible impacto de la extracción de agua del acuífero, es el incremento en el contenido de sales (sólidos disueltos) y de varios elementos en el agua subterránea, con el consiguiente deterioro de su calidad. Este impacto es resultado tanto del descenso del nivel del agua como del ingreso de aguas más saladas, como las del acuífero del río Grande. Según el EIA, se puede esperar que la calidad de las aguas subterráneas regrese a sus niveles de línea base después de que el bombeo haya cesado y el acuífero se haya recuperado.

Aparte de la extracción de agua, existen otras actividades que tienen impactos potenciales sobre las aguas superficiales y subterráneas. Por ejemplo la explotación del tajo abierto provocará un descenso del nivel de agua subterránea en el área colindante, y las aguas que ingresen al tajo deberán ser bombeadas. Se producirán alteraciones en el drenaje natural: algunos tramos de los ríos Jaikihua y Toldos serán desviados rodeando las principales instalaciones de la mina. Varios cuerpos de agua serán alterados por el almacenamiento de colas y material estéril.

El EIA identifica también impactos específicos sobre la calidad de aguas superficiales y subterráneas, producto de las actividades mineras:

- Incremento en la cantidad de sedimentos en el drenaje natural (ríos y cursos de agua)
- Impactos debido a derrames de combustibles, reactivos y otros materiales que llegan a los cursos de agua superficiales
- Posible drenaje de ácido de roca (DAR)

El potencial de DAR en el área de operaciones se relaciona con la presencia de rocas que contienen niveles elevados de sulfuro como la pirita que al ser expuestas a la atmósfera se oxidan. Por otro lado, si el agua drenada de las instalaciones para material estéril alcanza las aguas superficiales y subterráneas, se incrementarán las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, plomo, etc. Se han previsto medidas de mitigación, así como un programa de monitoreo que debería permitir detectar a tiempo los problemas y tomar medidas correctivas (Knigh Piesold, 2000).

7.4 El marco legal

La extracción y uso del agua para actividades mineras se rige por el Código Minero, la ley 1333 del Medio Ambiente, el Reglamento Ambiental para Actividades Mineras y el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica. El artículo 36 del Código Minero establece que los concesionarios mineros, para la realización de sus actividades, pueden usar y aprovechar las aguas de dominio público y las que se alumbren o discurran por sus concesiones, aunque las mismas se encuentren en propiedad privada, ajena a la concesión minera (puesto que ésta puede ser otorgada en suelo de propietario diferente al concesionario minero), cumpliendo lo establecido en el Código de Minería, la ley de aguas y la ley del Medio Ambiente. Como no existe una ley de aguas vigente, el uso del agua para actividades mineras sólo está limitado por la ley y reglamentos ambientales. En la práctica, el concesionario minero puede utilizar las aguas sin necesidad de solicitar concesión o licencia alguna, aun cuando la ley 2066 indica que cualquier concesión para uso de aguas debe otorgarse mediante ley expresa. En casos que el concesionario minero necesite variar un curso de agua, no precisa pedir permiso a nadie, únicamente hacerlo saber por escrito a los vecinos y al propietario del suelo para salvar posibles oposiciones.

El Reglamento Ambiental para Actividades Mineras no contiene disposiciones referidas a los impactos producidos por la extracción y consumo de agua, ni las medidas de control y mitigación a adoptar. El título IV de Manejo de Aguas de ese reglamento solamente se refiere a los riesgos de contaminación hídrica debido a esas actividades. En contraste, el Reglamento Ambiental para el sector Hidrocarburos, en su artículo 116, establece que para la extracción de agua, la empresa responsable debe "limitar la extracción de agua a una cantidad que no sobrepase el 10% del volumen de cuerpos de agua estáticos tales como lagos o lagunas, ni el 10% del flujo de cuerpos de agua dinámicos tales como ríos o arroyos". Para el caso de

acuíferos, esta disposición se traduce en que la extracción de agua está limitada a un 10% de la recarga.

Al no estar sometidas a una disposición semejante, las empresas mineras pueden extraer aguas subterráneas a un ritmo varias veces superior al de recarga (cinco veces o 500% en el caso de San Cristóbal) e incluso agotar completamente el acuífero, sin infringir ninguna normativa específica. La única limitante se encuentra en la Ley del Medio Ambiente y el Reglamento de Prevención y Control Ambiental, en base a los que el EIA identificó como impactos (ver 7.3) el descenso del nivel del agua en el acuífero y en los pozos que abastecían a Culpina K y la Estancia Cruz., la empresa MSC se vio obligada a adoptar medidas de mitigación o compensación, que en el presente caso corresponden a garantizar la provisión de agua a las poblaciones a ser afectadas. Para el descenso en el nivel y volumen de agua del acuífero, así como la disminución del flujo del río Grande de Lípez, no se adoptó ninguna medida específica. Solamente se realizará un monitoreo, al igual que para los posibles cambios en la calidad de las aguas subterráneas.

Casos como el de San Cristóbal ponen en evidencia la falta de una Ley de Aguas moderna. El concesionario minero no tiene que detentar, solicitar o adquirir derechos de aguas sobre la fuente que va a utilizar. Tampoco debe pagar una patente o cualquier tipo de impuesto por el uso del agua, ni se establece una diferencia en las condiciones o características de la fuente. Por ejemplo, en el caso de aguas subterráneas, características tales como si la fuente puede ser considerada renovable, su capacidad de recuperación, etc.

8. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

8.1 Conclusiones

El agua es fundamental para las actividades humanas y los ecosistemas del Altiplano sur de Bolivia y de la zona contigua del Norte de Chile, que tienen un clima árido y recursos hídricos limitados. Debido a la explotación de los grandes recursos mineros de la región, la presión sobre esos recursos hídricos es ya muy grande y tiende a aumentar con el tiempo, afectando en particular a las poblaciones originarias. Se presentan a continuación algunas conclusiones basadas en los datos y análisis desarrollados en los capítulos anteriores.

Clima y recursos hídricos

Cambios climáticos importantes han ocurrido en el Altiplano central y sur durante los últimos 30,000 años. Periodos húmedos y periodos cálidos han alternado con periodos donde el clima era más seco o más frío. Debido a su relativa aridez, el Altiplano es muy sensible a esos cambios climáticos, que en su momento produjeron grandes cambios hidrológicos. Durante las fases húmedas, se formaron grandes lagos, de mucha mayor extensión y profundidad que los actuales y hubo una importante recarga de los acuíferos de la región.

Desde hace 2000 años y hasta el presente han predominado condiciones climáticas más estables. El clima actual es árido en el Altiplano sur de Bolivia y desértico en el Norte de Chile. Existe una gran variación interanual de las lluvias. Casi todas las estaciones bolivianas registran lluvias promedio superiores a 100 mm/año, que aumentan en dirección al este. Solamente la estación de Laguna Colorada presenta una precipitación del orden de 75 mm/año, que probablemente sea más alta, ya que al menos parte de la precipitación que cae en forma de nieve no es registrada. La zona que recibe lluvias menores a 100 mm/año en Bolivia es más pequeña que la estimada en estudios previos. Probablemente no existe ningún lugar que reciba menos de 50 mm/año.

De forma general se puede decir que por debajo de los 100 mm/año, las precipitaciones son insuficientes para recargar los acuíferos locales o producir escurrimiento superficial. Esto ocurre en casi toda la Región de Antofagasta en Chile, que recibe lluvias demasiado bajas para que haya recarga subterránea. Con precipitaciones entre 100 y 200 mm/año el escurrimiento superficial y la recarga subterránea son débiles y ocasionales. Este es el caso de la zona de San Cristóbal, donde Knight Piesold (2000) estimó que menos del 5% de la precipitación se convierte en recarga. Por encima de los 200 mm/año se observa que las precipitaciones producen flujo superficial y cabe esperar que exista una recarga más frecuente de los acuíferos locales. Este es el caso del sector sureste de los LÍpez.

La evaporación es alta en todo el Altiplano Sur de Bolivia, con valores promedio que van de 1300 a 1700 mm/año. Es aún más alta al oeste de la Cordillera Occidental, en la región de Antofagasta, donde puede superar los 2000 mm/año. Con esos valores la evaporación potencial es al menos 12 veces mayor que la precipitación en el extremo suroeste de Potosí. Esa relación se reduce a 8 en Uyuni y a 5 en San Pablo de LÍpez. Según el balance hídrico puntual, no hay posibilidad de que el agua se almacene en el suelo en ninguna estación del año.

Las aguas que fluyen en la región son, en su gran mayoría, de origen subterráneo y además, antiguas. Una parte importante del agua almacenada en los acuíferos subterráneos debería considerarse un recurso no renovable, debido a que proviene de lluvias ocurridas entre 90 y 19,000 años atrás.

Los acuíferos del sudoeste de Potosí y la región de Antofagasta están frecuentemente asociados con los depósitos de ignimbritas de origen volcánico. Si bien existen ignimbritas a lo largo de toda la cordillera Occidental y por tanto de la actual frontera boliviano-chilena, los depósitos más grandes se encuentran en Sur LÍpez y la zona colindante de Chile y Argentina. Es probable de que algunos de esos depósitos estén interconectados y que haya flujo subterráneo de una cuenca a otra. Si hay interconexión subterránea, es posible que acuíferos más al oeste, incluyendo algunos del sector chileno al oeste de la cordillera Occidental, reciban actualmente agua proveniente del Altiplano boliviano. Las lluvias más abundantes (300 mm/año) en Sur LÍpez al este del meridiano 67°, refuerzan esa posibilidad e indican que al menos en ese sector, actualmente existe flujo superficial y recarga de acuíferos.

No se han cuantificado los recursos hídricos del sudoeste de Potosí. Pouyaut estimó preliminarmente en 20 m³/s el total de las aguas superficiales y subterráneas que fluyen en el Altiplano sur de Bolivia, sin tomar en cuenta si se originan en fuentes no renovables o si alimentan bofedales, lagunas u otros cuerpos de agua. El caudal aprovechable es considerablemente más bajo. En la región de Antofagasta, las fuentes de agua más importantes, manantiales o pozos, están situados al pie de la cordillera volcánica que separa esa región del Altiplano boliviano.

Esos recursos hídricos son muy sensibles a los cambios que se produzcan en la región, especialmente los inducidos por el hombre. Por ejemplo, la explotación intensiva de esos recursos, como se da actualmente en Antofagasta, puede reducir los volúmenes de agua almacenada en los acuíferos y con el tiempo, reducir el caudal de manantiales en los dos lados de la frontera. Cambios climáticos, a los que la región es muy sensible por su aridez, también pueden inducir cambios hidrológicos de gran magnitud.

A pesar del vulcanismo de la Cordillera Occidental, la mayoría de los manantiales de la región tienen aguas de buena calidad físico-química. De ahí se puede inferir que los acuíferos subterráneos que dan origen a esos manantiales también tienen aguas de buena calidad. Solamente los acuíferos situados junto a salares y lagunas saladas tienen aguas con alto contenido de sales. En esos cuerpos de agua, la sal se concentró por evaporación. En cuanto a los cursos superficiales, se observa que el contenido de sales aumenta a medida que aumenta su longitud en superficie, debido a la evaporación y al aporte de manantiales con más alto contenido de sales, que con frecuencia son también hidrotermales.

Uso, demanda y mercado del agua

Chaffaut estimó en 12 m³/s el caudal captado y usado en la región de Antofagasta en 1998, de los que 9 m³/s (75%) se destinaban a la minería y el resto, al uso urbano (Antofagasta, Calama, Tocopilla, etc) y en menor grado al riego, tanto el moderno como el tradicional de las etnias atacameñas. Es difícil estimar con precisión el consumo de agua, debido a que con frecuencia los datos de oferta y uso del agua en el norte de Chile no son accesibles por la extrema "sensibilidad económica" del tema. El sector privado maneja la información como reservada y confidencial.

El volumen usado para agua potable y minería es pequeño en el Sudoeste de Potosí y proviene casi exclusivamente de manantiales y pozos. El uso se incrementará grandemente con la entrada en operación del proyecto minero San Cristóbal (ver capítulo 7) que extraerá de fuentes subterráneas un volumen anual equivalente a un caudal continuo de 500 l/s. Los principales "usuarios" naturales de agua de la región son las lagunas y los bofedales. Los bofedales ocupan una superficie de 10,000 hectáreas en sudoeste de Potosí.

Prácticamente todas las fuentes de agua de la región de Antofagasta son de origen subterráneo. Por su caudal, las fuentes más importantes están situadas en las cabeceras de los afluen-

tes del río Loa, es decir en la cordillera y muy cerca de la frontera con Bolivia. Las inversiones mineras proyectadas y en ejecución para el periodo 2000-2010, requieren de una cantidad adicional de agua, del orden de varios miles de litros por segundo. El aumento de la subida de la demanda de cobre y del precio del mineral, han estimulado las inversiones mineras y la demanda de agua.

En su momento (2002), la demanda potencial adicional de la Primera y Segunda Regiones de Chile fue estimada en valores muy superiores a 3000 litros/segundo. Esa demanda, junto con la escasa oferta y el enorme monto de las inversiones y valor de la producción minera, significa que el precio del agua en el Norte de Chile es ya alto y tiende a subir con el tiempo. La empresa boliviana COBOREH, realizó sus proyecciones de exportación de agua, en base a un precio de venta igual o superior a 1 U\$/m³ de agua. Para los 20 años del proyecto con caudales de exportación variables entre 800 y 3000 litros/seg, COBOREH esperaba ingresos brutos del orden de 1788 millones de dólares.

Las condiciones descritas favorecen la posibilidad de comprar agua del sudoeste de Potosí. Además la compra y comercialización de agua se ven favorecidas por el marco legal (Código de Aguas) y por la experiencia de más de 20 años de aplicarlo en Chile. Muchos derechos de agua están en manos de empresas privadas, que los negocian como una mercancía más de la que obtienen grandes ganancias. Ese es el caso de las aguas del Silala, cuya comercialización está en manos del grupo Luksic. El poder económico y político de esos grupos es grande y su capacidad de presión y cooptación se hace evidente en la frecuencia con que surgen en Bolivia impulsores de leyes y proyectos de exportación de agua al Norte de Chile.

Medio ambiente

Los impactos de la extracción de aguas para exportación o minería en el suroeste de Potosí serán básicamente los mismos ya observados en el Norte de Chile, es decir:

- La disminución de la napa freática y del volumen de agua almacenado en los acuíferos
- La degradación y/o desecación de bofedales
- La desecación de lagunas altoandinas
- Los efectos negativos sobre la fauna (por ejemplo aves) que depende de lagunas y bofedales
- La reducción o desaparición local de los hatos de camélidos que dependen de los bofedales
- Los impactos socioeconómicos y culturales sobre los pobladores de la región, cuya actividad principal es la ganadería de camélidos basada en los bofedales y cuya cultura guarda estrecha relación con el agua
- La desaparición o degradación de las fuentes de agua usadas para consumo humano (pozos y manantiales) situados cerca de los puntos de extracción o que provengan de los mismos acuíferos
- Los impactos indirectos sobre el turismo

La explotación de los recursos hídricos del Sudoeste de Potosí puede generar recursos económicos para la región y el país, por lo que a priori no puede descartarse. Pero cualquier proyecto de explotación de esos recursos en una región que por sus características es muy sensible a cualquier cambio, obliga a considerar cuidadosamente sus impactos sociales y ambientales y su sostenibilidad ambiental, así como la puesta en marcha de mecanismos de control y monitoreo.

El proyecto San Cristóbal

El proyecto a cargo de la compañía Minera San Cristóbal (MSC), filial de Apex Silver de Estados Unidos, tendrá una vida útil de 11 años y 6 meses. Durante ese periodo se estima una producción de 14 millones de onzas troy de plata, 132700 toneladas de zinc y 39500 toneladas de plomo por año. La vida total esperada del proyecto, incluyendo el desarrollo, las operaciones, el cierre, la rehabilitación y el abandono, es de aproximadamente 22 años. Para producir las cantidades previstas de plata, zinc y plomo se requerirá un suministro de agua fresca de 40,000 m³/día durante la fase de operación, equivalente a un caudal continuo de 465 litros/seg o un volumen de 14.6 millones de metros cúbicos por año.

El agua requerida por el proyecto provendrá de acuíferos subterráneos. La fuente principal será el acuífero del río Jaukihua, situado aproximadamente 7 km al sur de Nuevo San Cristóbal. El caudal a extraer por bombeo (40,000 m³/día) es mucho mayor que la recarga actual. En consecuencia, el acuífero se irá "vacando" o agotando a lo largo de los 20 años del proyecto. Los impactos ambientales identificados por MSC son el descenso del nivel del agua en el acuífero Jaikihua y adyacentes, el descenso del nivel del agua en los pozos municipales de abastecimiento de las comunidades de Estancia Cruz y Culpina K, la disminución del flujo de agua en el río Grande de Lípez y el posible incremento en el contenido de sales en el agua del acuífero. Para mitigar alguno de esos impactos, se ha dotado de nuevas fuentes de agua a esas comunidades. Aparte de la extracción de agua, existen otras actividades del proyecto que tienen impactos potenciales sobre las aguas superficiales y subterráneas.

El presente análisis indica que la precipitación en la zona fue sobrestimada en los estudios de MSC. Como consecuencia, es muy probable que la recarga también haya sido sobrestimada y los descensos del nivel de agua en el acuífero sean más grandes y ocurran en tiempos más cortos que los pronosticados por el Estudio de Impacto Ambiental. Al mismo tiempo, la recuperación del acuífero después de cesar las operaciones mineras, llevará mucho más tiempo.

El Reglamento Ambiental para Actividades Mineras no contiene disposiciones referidas a los impactos producidos por la extracción y consumo de agua. A diferencia del Reglamento Ambiental para el sector Hidrocarburos, que establece límites a la extracción de agua, las empresas mineras pueden extraer aguas subterráneas a un ritmo varias veces superior al de recarga (cinco veces o 500% en el caso de San Cristóbal) e incluso agotar completamente el acuífero, sin infringir ninguna normativa específica. Solamente la legislación ambiental obligó a MSC a adoptar medidas de mitigación o compensación para garantizar la provisión de agua

a las poblaciones que iban a ser afectadas. El concesionario minero tampoco tiene que detentar, solicitar o adquirir derechos de aguas sobre la fuente que va a utilizar. Tampoco debe pagar una patente o cualquier tipo de impuesto por el uso del agua.

8.2 Investigación y monitoreo

El acceso a información meteorológica, hidrológica, hidrogeológica y de uso del agua en el Sudoeste de Potosí y en las regiones de Antofagasta y Tarapacá ha sido difícil. En el caso de Potosí, por la insuficiencia de datos o por la falta de control y baja calidad de los datos existentes. En el caso de Antofagasta y Tarapacá, porque el acceso a esa información es limitado por la reserva y confidencialidad impuestas en Chile, tal vez debido a la sensibilidad económica y geopolítica del tema.

Sin embargo, para tomar decisiones es necesario contar con información adecuada y confiable, especialmente sobre la oferta, demanda e impactos del uso del agua, que también sería importante para los planes de desarrollo regional. Se propone iniciar o apoyar algunos programas de investigación que proporcionen esa información.

Evaluación de los recursos hídricos del sudoeste de Potosí

La investigación tendrá como objetivo estimar la oferta de agua de las cuencas de laguna y en la cuenca del río Quetena. Para cumplir con ese objetivo es necesario realizar las siguientes tareas:

- Mejorar la red hidrometeorológica de la región
- Evaluar la evaporación a nivel mensual y anual en la región
- Estimar la superficie media de las lagunas y su variación interanual.
- Realizar un balance hídrico por cuenca lagunar, para estimar el volumen anual de aporte de agua a esos cuerpos
- Medir el caudal presente en el río Quetena durante al menos un año hidrológico y evaluar su origen (precipitación, acuíferos)
- Realizar una datación isotópica (radiocarbónica) de las aguas de varios manantiales y vertientes

La mayor parte de las estaciones climáticas del sudoeste de Potosí, mencionadas en el capítulo 3, han dejado de funcionar. Hace muy pocos meses, SENAMHI instaló una estación climatológica automática en Laguna Colorada, en el mismo lugar donde estaba la antigua estación. Se propone instalar al menos tres estaciones adicionales con data logger, preferiblemente en la misma ubicación de estaciones antiguas.

Para estimar la superficie de las lagunas, que se supone variable estacional e interanualmente, se propone recurrir a series multitemporales de imágenes de satélite, lo que permitirá, junto con los datos de la red meteorológica mejorada, realizar una estimación del aporte de agua a esas lagunas. Las imágenes también ayudarán a evaluar si existe alguna tendencia a la disminución de la superficie de esas lagunas.

Para el caso de los ríos Quetena y Grande, es razonable pensar en estaciones hidrométricas que midan el caudal. Como sobre el río Grande de Lipez existirá una estación de monitoreo a cargo de la empresa Minera San Cristóbal, sólo será necesario instalar una estación permanente sobre el río Quetena. Para evaluar el origen de esas aguas, se puede recurrir a muestreos de frecuencia mensual durante la época lluviosa y bimensual en la época de estiaje. La idea es que un análisis de las variaciones de concentración de sales y otros elementos podrían ayudar a identificar qué parte del caudal que escurre proviene de acuíferos subterráneos y que parte proviene de las lluvias actuales. Es importante recopilar toda la información sobre calidad de aguas existente en estudios previos (SERGEOMIN, Dames and Moore, CEEDI, etc), tanto del Quetena, como de los otros cursos de agua de la región.

Finalmente, los estudios de datación radiocarbónica son necesarios para evaluar la recarga actual de los acuíferos y el origen de las aguas de escorrentía. La elección de puntos de muestreo debería estar basada en el único estudio que se conoce sobre el tema (Chaffaut, 1998). En resumen, la investigación que se propone tendría tres componentes principales:

Balance hídrico de lagunas

Estudio hidrológico del río Quetena

Datación radiocarbónica de cursos de agua seleccionados

Monitoreo del acuífero Jaikihua y estación hidrométrica del río Grande

Como parte del programa de mitigación del proyecto San Cristóbal, la empresa Minera San Cristóbal instalará una red de pozos de monitoreo de aguas subterráneas, donde se controlarán niveles y se tomarán periódicamente muestras de agua. Adicionalmente se medirá el flujo (caudal) y se tomarán muestras del río Grande de Lipez en un punto próximo al sitio de proyecto. Como San Cristóbal está a menos de 50 km de la desembocadura del río Grande en el salar de Uyuni (ver figura 4.1), ese punto de control y la red de pozos proporcionarán información muy útil para mejorar el conocimiento de la hidrología e hidrogeología de la región. MSC también instaló estaciones climáticas.

Como el Código Minero y la legislación actual no obligan a las empresas mineras a entregar información a los organismos públicos competentes, se sugiere que el Estado boliviano (Ministerio del Agua o de Minería) llegué a un acuerdo con la Minera San Cristóbal para que los datos climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos y de calidad de aguas recolectados por la empresa sean entregados regularmente a SENAMHI y SERGEOTECMIN. Al terminar la vida útil del proyecto, la red de medición podría ser transferida a esos organismos.

Hidrogeología

La Facultad de Geología de la Universidad Mayor de San Andrés, junto con SERGEOTECMIN y otras instituciones, inició el 2006 un proyecto de investigación que creará un banco de datos geológicos e hidrogeológicos de alcance nacional (Tellería, com. pers.). Por sus recursos mineros y la información que ya existe, cabe suponer que los resultados para el Altiplano de Oruro y Potosí serán bastante precisos y detallados y por tanto, de gran utilidad para evaluar los recursos hídricos de la región.

Para el logro de los objetivos del proyecto es necesario disponer de toda la información existente. En particular, sería de enorme utilidad la información generada y recolectada por YPFB, COMIBOL y las empresas petroleras y mineras que han hecho exploración. Sin embargo, no existe obligación legal o contractual de entregar esa información a las instituciones competentes del Estado boliviano. El apoyo al proyecto sería justamente el de proporcionar, tal vez mediante uno o varios acuerdos entre Estado y empresas, la información necesaria.

8.3 Aguas internacionales

Una parte importante de las fronteras de Bolivia está formada por agua y gran parte de las cuencas son compartidas con los países limítrofes. En la cuenca del Altiplano, se tienen tanto subcuencas en que la cabecera está en territorio boliviano como subcuencas en que el curso de agua nace en territorio de otro país para ingresar luego a Bolivia, como es el caso del río Lauca. Las cuencas transfronterizas son sujeto de derecho internacional. Sin embargo, los instrumentos jurídicos que existen son aplicables ante todo a ríos de curso sucesivo, es decir aguas superficiales, como por ejemplo la Declaración de Montevideo (1933, OEA, Resolución LXXII de la 7ma Conferencia Internacional Americana): "Ningún Estado puede, sin el consentimiento del otro ribereño, introducir en los cursos de agua de carácter internacional, por el aprovechamiento industrial o agrícola de sus aguas, ninguna alteración que resulte perjudicial a la margen del otro Estado" (Art.2).

Bolivia ha firmado tratados con países limítrofes para el manejo conjunto de cuencas compartidas, como es el caso de la cuenca del lago Titicaca y río Desaguadero, donde se creó la Autoridad Binacional del Sistema TDPS (ALT). Sin embargo, no se ha firmado ningún tratado sobre las cuencas de Potosí que son compartidas con Chile.

Históricamente el aprovechamiento de aguas ha sido parte importante de las relaciones bilaterales entre Bolivia y Chile, incluyendo los conflictos (gran parte de los conflictos internacionales no resueltos sobre aguas son con ese país), lo que se explica en parte por la aridez de la región y la necesidad de agua que tienen las regiones de Arica y Antofagasta en Chile. A ello se suma la reivindicación histórica sobre las costas del Litoral (actualmente Antofagasta), que Bolivia perdió como resultado de la Guerra del Pacífico, de la que Chile resultó vencedor. Los manantiales del Silala, que nacen en el departamento de Potosí y que son explotados en su totalidad por Chile desde hace 100 años, son uno de esos conflictos.

El proyecto de exportación de aguas del Sudoeste de Potosí al norte de Chile reveló, en su momento, los vacíos en la legislación y la falta de una política de aguas internacionales. El primer vacío es la falta de una Ley de Aguas, que defina con claridad la asignación de derechos de uso del agua y establezca elementos de gestión integral de los recursos hídricos del país.

A tono con las reformas de la década del 90, el proyecto de exportación de aguas se planteó como un negocio entre privados, entre una empresa vendedora (COBOREH) y varias empresas mineras, chilenas y transnacionales, que figuraban como compradoras. Al no existir legislación hídrica o, por el contrario, al existir un marco legal que establecía condiciones extraordinariamente favorables para que la empresa privada, particularmente extranjera, explotara los recursos naturales del país, temas como el de regalías o patentes por la explotación del agua o la determinación de los caudales aprovechables, quedaron sujetos a la voluntad de la empresa impulsora del proyecto y de los legisladores y cívicos que eventualmente la apoyaron.

Lo que quedó claro de la discusión posterior es que toda decisión sobre el uso y aprovechamiento del agua con fines de exportación, debe quedar en manos del Estado y debe ser objeto de un análisis de alcance nacional. No se puede permitir siquiera la posibilidad de que sean privados, con o sin participación del Estado, los que definan lo que debe hacer el país con un recurso natural tan estratégico como el agua, mucho menos en el contexto de las relaciones con Chile. También quedó claro que se debe tomar en cuenta a los pobladores de la región y sus legítimas aspiraciones de desarrollo.

La exportación plantea también temas de relevancia, como la relación entre recursos naturales estratégicos y los objetivos centrales de una política de aguas internacionales de Bolivia, entre ellos la salida al Pacífico. ¿Debe incluirse al agua como un elemento de negociación de una salida al mar? ¿Qué importancia tiene que ese recurso pueda considerarse un recurso no renovable? Estos y otros temas tienen aún más relevancia en el nuevo contexto que vive el país a partir de los cambios que están en marcha.

REFERENCIAS

- Ammann, C., Jenny, B., Kammer, K., Messerli, B., 2001. Late Quaternary Glacier response to humidity changes in the arid Andes of Chile (19-23° S). En *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 172, p. 313-326.
- Aravena, R., 1995. Hidrología isotópica y geoquímica de las aguas subterráneas del norte de Chile. En *Bull. Inst. Fr. Études Andines* 24, 3, p. 495-504. Lima.
- Blodgett, T., Lenters, J., Isacks, B., 1997. Constraints on the Origin of Paleolake Expansions in the Central Andes. En *Earth Interactions*, No 1, pp. 1-28.
- Chaffaut, I. 1998. *Precipitations d'altitude, Eaux souterraines et changements climatiques de L'Altiplano Nord-chilien*. These présenté pour obtenir le grade de Docteur en Sciences, Université Paris XI Orsay, Octubre 1998, Paris.
- Clayton J. D., and C. M. Clapperton, 1995. The last glacial cycle and paleolake synchrony in the southern Bolivian Altiplano: Cerro Azanaques case study. *Bull. Inst. Fr. Études Andines*, 24, 563-571. Lima.
- Herbas, C., 1992. Estudio de climatología del sistema TDPS. En Plan Director Global binacional de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopo y salar de Coipasa. La Paz.
- Instituto de Ecología (IE), Museo de Historia Natural (MHN), CEEDI, 1990. Diagnóstico de los Recursos Naturales de la Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Abaroa. La Paz.
- Kempf, , 2006. En *Conservación y Desarrollo en el suroeste de Potosí*, Eds. Olivera, Ergueta y Villca, , p. 189-202, La Paz.
- Knight Piésold Consulting, 2000. Proyecto San Cristóbal, Provincia de Nor LÍpez, República de Bolivia, Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Minera San Cristóbal – MSC, 2006. Gestión de los Recursos Hídricos, Fases de construcción y operación. Toldos, Potosí.
- Olivera, M., Sánchez, E., Maygua, W., 2006. Caracterización socioeconómica. En *Conservación y Desarrollo en el suroeste de Potosí*, Eds. Olivera, Ergueta y Villca, , p. 189-202,

La Paz.

Orrego, J.P., 2002. El Estado de las Aguas Terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas. Fundación Terram, Santiago, 69 p.

Pourrut P. y Covarrubias A., 1995. Existencia de agua en la II región de Chile: interrogantes e hipótesis. En Bull. Inst. Fr. Études Andines 24, 3, p. 505–515. Lima.

SERGEOMIN, 2001a. Estudio de las cuencas hidrográficas de la Cordillera Occidental y Altiplano, Resumen ejecutivo. La Paz, 15 p.

SERGEOMIN, 2001b. Estudio de la Geología, Hidrología, Hidrogeología y Medio Ambiente del área de los manantiales del Silala, provincia Sur Lípez, 72 p. La Paz.

El agua es fundamental para las actividades humanas y los ecosistemas del Altiplano sur de Bolivia y de la zona contigua del Norte de Chile, que tienen un clima árido y recursos hídricos limitados. Debido a la explotación de los grandes recursos mineros de la región, la presión sobre esos recursos hídricos es ya muy grande y tiende a aumentar con el tiempo, afectando en particular a las poblaciones originarias. Históricamente el aprovechamiento de las aguas en estas regiones ha derivado en conflictos internacionales incluyendo la Guerra del Pacífico.

El presente estudio de caso pretende aportar a la discusión y toma de decisiones en el tema de aguas internacionales desde una perspectiva técnica y con la mejor información disponible, sistematizada y analizada para la evaluación del uso actual del agua y los posibles impactos ambientales que resultarían de la explotación de nuevas fuentes superficiales y subterráneas, tomando como referencia los impactos producidos por proyectos ya existentes. Además aborda y analiza las necesidades de agua del proyecto minero San Cristóbal y sus impactos.

Los análisis aquí presentados deberían ser insumos valiosos para los actores públicos y sociales involucrados en un tema de importancia estratégica como es el de los recursos hídricos y en particular el tema de aguas internacionales, no solo porque actualmente se encuentra en el centro de las negociaciones internacionales con los países vecinos, sino porque el país está en el proceso de construir una visión propia.

