



**UNIVERSIDAD DE LA SERENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO INGENIERIA DE MINAS**

**MINERIA, AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRICOS EN  
LA CUENCA DEL RIO ELQUI: ASPECTOS ECONOMICOS,  
SOCIALES Y AMBIENTALES.**

**ESTEBAN ALONSO DATTWYLER CANCINO**

Memoria para optar al título de  
**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

Comisión Revisora:

Dr. Hugo Maturana C.

Dr. Jorge Oyarzún M.

Dr. Ricardo Oyarzún L.

Profesor Patrocinante

Profesor Patrocinante

La Serena, 2008

## **Agradecimientos**

Agradezco el aporte de información y datos que realizaron profesionales de Minera Linderos, Minera Talcuna, Minera Carmen de Andacollo, Minera San Gerónimo, Minera Dayton, Junta de Vigilancia del Río Elqui, Junta de Vigilancia del Estero Derecho, Dirección General de Aguas, ENAMI, CONAMA, SEREMI de Minería y SEREMI de Agricultura. Especialmente a Nicole Kretchmer de CEAZA, a los profesionales de CAZALAC: Guido Soto, Manuel Soto, Maria Teresa Castillo y Michelle Señoret. También a los profesores del Depto. de Minas ULS: Jorge Oyarzún, Ricardo Oyarzún, Hugo Maturana y Belisario Gallardo.

Finalmente le doy gracias mis seres queridos, de quienes he recibido incondicionalmente el apoyo necesario para lograr todos los objetivos que me he impuesto en la vida Patricia Cancino, José Aracena, Felipe Dättwyler, Enzo Aracena, Pablo Muñoz, Ricardo Soto, Eduardo Quintana, Rodrigo Chamorro, Eduardo Tapia, Patricia Lavín, Lilian Rodríguez, Abel Benítez, Fernando Dättwyler y Katerin Herrera.

## CONTENIDOS

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI .....</b>	<b>6</b>
1.1 CUENCA PRINCIPAL Y SUBCUENCAS .....	6
1.1.1 SUBCUENCA DEL RÍO TURBIO.....	9
1.1.2 SUBCUENCA DEL RÍO CLARO .....	11
1.1.3 SUBCUENCA DEL RÍO ELQUI.....	12
1.2 CLIMA DE LA CUENCA .....	14
1.2.1 FACTORES QUE DETERMINAN EL CLIMA .....	14
1.2.2 CLIMA DE LA CUENCA DEL ELQUI .....	16
1.2.3 FENÓMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA .....	17
<b>2 RECURSO HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI.....</b>	<b>18</b>
2.1 AGUAS SUPERFICIALES.....	18
2.1.1 ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI.....	18
2.1.1.1 JUNTA DE VIGILANCIA DEL RÍO ELQUI .....	19
2.1.1.2 JUNTA DE VIGILANCIA DEL ESTERO DERECHO.....	27
2.1.2 SISTEMA DE REGULACIÓN HIDROLÓGICA EN LA CUENCA DEL RÍO ELQUI.....	28
2.1.2.1 EMBALSE LA LAGUNA .....	28
2.1.2.2 EMBALSE INTENDENTE RENÁN FUENTEALBA (PUCLARO) .....	30
2.1.3 PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN .....	32
2.1.4 DISTRIBUCIÓN INTERNA DEL AGUA .....	32
2.1.5 TRANSACCIÓN DE DERECHOS.....	33
2.1.6 ASESORÍA TÉCNICA .....	34
2.1.7 FINANCIAMIENTO .....	36
2.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	38
<b>3 MINERÍA EN LA CUENCA DEL RÍO ELQUI.....</b>	<b>42</b>
3.1 MINERÍA ARTESANAL .....	43
3.2 MINERÍA INDUSTRIAL .....	46
3.3 DISTRITOS MINEROS .....	51
3.3.1 DISTRITO MINERO EL INDIO.....	51
3.3.1.1 FAENA EL INDIO .....	55
3.3.1.2 FAENA TAMBO.....	56
3.3.1.3 ASPECTOS AMBIENTALES DEL DISTRITO .....	56
3.3.2 DISTRITO MINERO TALCUNA.....	73
3.3.2.1 COMPAÑÍA MINERA SAN GERÓNIMO.....	75
3.3.2.2 COMPAÑÍA MINERA TALCUNA.....	76
3.3.2.3 COMPAÑÍA MINERA LINDEROS.....	77
3.3.2.4 ASPECTOS AMBIENTALES DEL DISTRITO .....	78
3.3.3 DISTRITO MINERO LAMBERT .....	83
3.3.4 DISTRITO MINERO ANDACOLLO .....	85
3.3.4.1 COMPAÑÍA MINERA DAYTON .....	87
3.3.4.2 COMPAÑÍA MINERA CARMEN DE ANDACOLLO.....	88
3.3.4.3 ASPECTOS AMBIENTALES DEL DISTRITO .....	92
3.3.5 DISTRITO TAMBILLOS.....	94
3.3.5.1 MINERA TAMBILLOS.....	94
3.3.5.2 ASPECTOS AMBIENTALES DEL DISTRITO .....	95

3.4 RESUMEN DE CONSUMO DE AGUA EN MINERÍA EN LA CUENCA DEL RÍO ELQUI.....	95
3.5 USO DEL AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE .....	96
3.5.1 CONSUMO EN LA MINA .....	96
3.5.1.1 CONSUMO DE AGUA EN PERFORACIÓN MINERÍA SUBTERRÁNEA .....	97
3.5.2 CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN .....	97
3.5.3 PROCESOS DE LIXIVIACIÓN - EXTRACCIÓN POR SOLVENTES – ELECTRO OBTENCIÓN .....	99
3.6 PROYECTOS FUTUROS .....	103
3.7 PRECIO DEL COBRE.....	106
3.7.1 TENDENCIA DE LOS PRECIOS .....	107
<b>4 AGRICULTURA DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI.....</b>	<b>109</b>
4.1 CULTIVOS .....	110
4.2 EMPLEOS .....	116
4.3 COSECHAS.....	117
4.4 FUENTE DE RIEGO .....	118
4.5 APLICACIÓN DEL RIEGO .....	118
4.6 MÉTODOS DE RIEGO .....	119
4.6.1 MÉTODOS SUPERFICIALES O DE GRAVEDAD TRADICIONALES .....	119
4.6.1.1 RIEGO POR TENDIDO.....	120
4.6.1.2 RIEGO POR SURCOS .....	122
4.6.1.3 MÉTODOS SUPERFICIALES O DE GRAVEDAD TECNIFICADOS .....	125
4.6.2 MÉTODOS PRESURIZADOS .....	126
4.6.2.1 RIEGO POR ASPERSIÓN.....	127
4.6.2.2 RIEGO POR MICROASPERSIÓN Y MICROJETS.....	128
4.6.2.3 RIEGO POR GOTEO .....	130
4.7 DEMANDA DE RIEGO A NIVEL DE PREDIO .....	131
4.8 FORMA DE COMERCIALIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS .....	132
4.9 PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN.....	133
4.9.1 CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS.....	134
4.9.2 RESIDUOS DE AGROINDUSTRIA PISQUERA .....	135
<b>5 ANÁLISIS COMPARATIVO MINERÍA-AGRICULTURA .....</b>	<b>137</b>
5.1 OFERTA DE AGUA Y DEMANDAS AGRÍCOLAS Y MINERAS .....	137
5.2 EFICIENCIAS EN EL USO DE AGUA.....	138
5.3 COMPARACIÓN ENTRE MINERÍA AGRICULTURA RESPECTO AL USO DE RECURSO HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI.....	140
5.4 PROYECCIÓN FUTURA DE LA MINERÍA Y AGRICULTURA DE LA CUENCA .....	142
<b>6 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....</b>	<b>144</b>
6.1 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	144
6.2 CONCLUSIÓN GENERAL .....	154
6.3 COMENTARIOS .....	155
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>156</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>156</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1:	Características generales de las subcuencas.....	7
Tabla 1.2:	Principales ríos de la subcuenca del Río Turbio.....	10
Tabla 1.3:	Principales ríos de la subcuenca del Río Claro.....	11
Tabla 1.4:	Principales ríos de la subcuenca del Río Elqui.....	12
Tabla 1.5:	Factores que determinan el clima de la Región de Coquimbo.....	15
Tabla 2.1:	Canales y acciones de la primera sección.....	22
Tabla 2.2:	Canales y acciones de la segunda sección.....	25
Tabla 2.3:	Canales y acciones de la tercera sección.....	26
Tabla 2.4:	Canales y acciones Junta de Vigilancia del Estero Derecho.....	27
Tabla 2.5:	Oferta y Demanda (l/s) de acuíferos del valle del Río Elqui.....	39
Tabla 3.1:	Número de minas en registro y trabajadores en registro SERNAGEOMIN.....	43
Tabla 3.2:	Producción comercializada a ENAMI de minerales y/o productos durante el periodo 1996 – 2006.....	44
Tabla 3.3:	Análisis de metales en suelos sector Baños del Toro – El Indio (1970).....	58
Tabla 3.4:	Análisis de metales disueltos en aguas ríos Toro y Malo (1970).....	59
Tabla 3.5:	Estaciones de monitoreo plan de cierre CMEI.....	63
Tabla 3.6:	Promedio y desviación estándar de concentración de pH, SO <sub>4</sub> , Cu y As en monitoreos plan de cierre El Indio, período 2003 - 2007.....	67
Tabla 3.7:	Datos de monitoreo efectuado por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003.....	68
Tabla 3.8:	Datos de monitoreo efectuado por CMEI entre Septiembre de 2003 Enero de 2007.....	68
Tabla 3.9:	Consumo de agua de cada compañía minera de la Cuenca.....	95
Tabla 3.10:	Características de consumo de agua en perforación manual y jumbo.....	97
Tabla 3.11:	Precio promedio (centavos de dólar) de los últimos 10 años.....	106
Tabla 3.12:	Proyección de balance mundial de cobre refinado (miles de toneladas métricas de cobre fino).....	108
Tabla 4.1:	Tipos de cultivo en la Cuenca de Elqui.....	111
Tabla 4.2:	Superficie cultivada de vides.....	112
Tabla 4.3:	Superficie plantada con frutales.....	113
Tabla 4.4:	Producción y densidad promedio de principales frutales según variedades.....	114
Tabla 4.5:	Superficie plantada con cereales, leguminosas y tubérculos.....	115
Tabla 4.6:	Producción y densidad promedio de cereales, chacras, papas y otros.....	115
Tabla 4.7:	Superficie plantada con hortalizas.....	116
Tabla 4.8:	Empleo permanente generado por la agricultura en la Cuenca del Río Elqui.....	116
Tabla 4.9:	Empleo estacional o temporal generado por la agricultura en la Cuenca del Río Elqui entre mayo de 2006 y abril de 2007.....	117
Tabla 4.10:	Período de cosecha de los frutales Región de Coquimbo.....	117
Tabla 4.11:	Superficie regada por métodos gravitacionales.....	120
Tabla 4.12:	Largo máximo de surcos (m) para diferentes suelos y pendientes, para un riego equivalente a 10 cm. de agua.....	123
Tabla 4.13:	Superficie regada con sistemas de aspersion.....	128
Tabla 4.14:	Superficie regada con sistemas de micro riego.....	131
Tabla 5.1:	Uso de agua y producción agrícola y minera.....	140
Tabla 5.2:	Utilidades de venta de concentrados de Cu.....	141
Tabla 5.3:	Producción y consumo de agua.....	142
Tabla 6.1:	Requerimientos de agua de la minería y agricultura de la Cuenca del Río Elqui.....	146

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Red fluvial de la Cuenca del Río Elqui. ....	7
Figura 1.2: Perfil topográfico W – E a la latitud de 30° (Cuenca del Río Elqui) Relieve Cuenca del Río Elqui. ....	8
Figura 1.3: Principales subcuencas. ....	9
Figura 2.1: Organigrama de la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus afluentes. ....	20
Figura 2.2: Secciones de la Cuenca del Río Elqui. ....	21
Figura 2.3: Sectores hidrogeológicos de la Cuenca del Río Elqui. ....	38
Figura 3.1: Principales mineras de la Cuenca. ....	42
Figura 3.2: Minas artesanales de la Cuenca Clasificadas según dotación. ....	43
Figura 3.3: Faenas mineras de la Cuenca. ....	46
Figura 3.4: Distribución de faenas mineras según mineral a extraer. ....	47
Figura 3.5: Distribución de faenas mineras según mineral a extraer. ....	48
Figura 3.6: Distribución de faenas mineras según mineral a extraer. ....	49
Figura 3.7: Distrito minero El Indio. ....	52
Figura 3.8: Monitoreo de aguas y sedimentos en distrito El Indio (1970). ....	60
Figura 3.9: Estaciones de Monitoreo Plan de Cierre El Indio. ....	64
Figura 3.10: Estaciones de monitoreo plan de cierre El Indio. ....	65
Figura 3.11: Estaciones de monitoreo plan de cierre El Indio. ....	66
Figura 3.12: Medición de pH efectuada por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003, por CMEI entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007(A). Tendencia lineal de la serie de datos, período 1998 - 2007 (B). ....	69
Figura 3.13: Medición de SO <sub>4</sub> efectuada por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003, por CMEI entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007 (A). Tendencia lineal de la serie de datos, período 1998 - 2007 (B). ....	70
Figura 3.14: Medición de Cu efectuada por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003, por CMEI entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007 (A). Tendencia lineal de la serie de datos, período 1998 - 2007 (B). ....	71
Figura 3.15: Medición de As efectuada por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003, por CMEI entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007 (A). Tendencia lineal de la serie de datos, período 1998 - 2007 (B). ....	72
Figura 3.16: Distrito minero Talcuna. ....	73
Figura 3.17: Distrito minero Lambert. ....	83
Figura 3.18: Distrito minero Andacollo y conexión con Cuenca del Río Elqui. ....	86
Figura 3.19: Operaciones unitarias concentración por flotación. ....	99
Figura 3.20: Operaciones unitarias de proceso de Lixiviación - Extracción por solventes – Electroobtención. ....	101
Figura 3.21: Proyectos a realizar en la Región de Coquimbo. ....	104
Figura 3.22: Proyectos actuales y a realizar en la Región de Coquimbo. ....	105
Figura 3.23: Stocks y precios del cobre: Bolsa de Metales de Londres, Enero 2002 a Julio 2007 (precios en centavos de dólar y stock en miles de toneladas de cobre fino). ....	107
Figura 4.1: Áreas de riego en la Cuenca del Elqui. ....	110
Figura 4.2: Principales cultivos. ....	111
Figura 5.1: Esquema de actual distribución de agua. ....	139
Figura 5.2: Esquema de distribución de agua. ....	143

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 2.1: Embalse La Laguna. ....	29
Fotografía 2.2: Embalse Puclaro. ....	31

## Resumen

El presente trabajo de título realiza una compilación de antecedentes relativos al uso de agua en los rubros minería y agricultura en la Cuenca del Río Elqui, las cuales son las principales actividades económicas de esta zona geográfica.

Entre estos antecedentes destacan la geografía y clima de la cuenca, la demanda del recurso hídrico superficial y subterráneo y el sistema de distribución de las aguas, así como su gestión y fiscalización. Igualmente se tocan temas sociales como la generación de empleos por ambos rubros y la estabilidad de estos. Por último se revisan los problemas ambientales que se han producido en las últimas décadas en la Cuenca, así como el conflicto entre la empresa minera Carmen de Andacollo y agricultores del sector de Pan de Azúcar, por el uso de agua de acuíferos de la zona.

La conclusión principal de este trabajo es que en las actuales condiciones de uso por parte de la minería y la agricultura, el recurso hídrico alcanza para satisfacer las demandas de ambos rubros en un equilibrio delicado. Por lo tanto, el aumento de la demanda debe ser manejado en primer lugar mejorando las actuales ineficiencias de manejo de modo de ocupar el agua que actualmente se pierde.

### Abstract

This present memoir presents a compilation of qualitative and quantitative information regarding the use of water resources by the mining and agricultural industries in the Elqui basin, which are its main economical activity.

Among the information presented here is that concerning the geography and climate of the basin, and its surface and underground drainage. Also, the distribution and management systems for the water resources are described, as well as the public control over this resource. Other important subject considered is the comparison of working post offered by the mining industry and agriculture, discussed both in terms of N° jobs/m<sup>3</sup> water and in absolute numbers. Finally, the mining-agriculture conflicts and environmental problems are considered, included that of the Pan de Azúcar basin, due the Carmen de Andacollo mining company.

A principal conclusion of the memoir is the rather delicate present balance of the water resources / demands. Therefore, the increasing demands should be first addressed by obtaining a better management of the water resources, both in its conduction and it use in irrigation.

## Introducción

La cuenca hidrográfica del Río Elqui forma parte de la Región de Coquimbo, abarcando la Provincia de Elqui en las comunas de La Serena, Andacollo, Paihuano y Vicuña, con una extensión de 9.826 km<sup>2</sup>, equivalente al 24% de la superficie regional. La cuenca entra en la categoría de zona semiárida, cuyas precipitaciones anuales promedio no superan los 130 mm. El uso del suelo agrícola utilizado en la cuenca alcanza 27.713 ha, equivalentes al 3% de la superficie total de la cuenca, mientras la superficie en la que se realiza actividad minera, es menor de 156,25 ha, pero de gran importancia económica (CONAMA, 2006). En efecto, la minería es el sector cuyo impacto ambiental es más visible, y que contribuye al mismo tiempo con la mayor parte de los ingresos de la región.

El Proyecto CAMINAR (Manejo de Cuencas con Actividad Minera en Regiones Áridas y Semiáridas de América del Sur) es una iniciativa coordinada por la Universidad de Newcastle Inglaterra, y que se realiza a través de los fondos de la Unión Europea, con participación de investigadores de España, Portugal, Bolivia, Chile y Perú. En Chile trabaja en conjunto Water Management Consultants, WMC, el Centro del Agua para Zonas Áridas de Latinoamérica y del Caribe, CAZALAC, el Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas, CEAZA, y el Departamento de Minas de la Universidad de La Serena. La cuenca del Elqui fue seleccionada por CAMINAR como una de las tres cuencas vulnerables al impacto de las actividades mineras (CAMINAR DOW, 2007). Esto con el fin de contribuir al establecimiento de políticas, estrategias de manejo y tecnologías que favorezcan el desarrollo de estas y otras cuencas en regiones áridas y semiáridas de Sudamérica.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Uno de los puntos a tratar en el Proyecto son las relaciones entre la minería, la agricultura y los recursos hídricos de la cuenca en aspectos económicos sociales y ambientales, tema de esta memoria. Al respecto se examinarán las distintas variables que influyen en el uso de agua por parte de la actividad minera. Estos incluyen avances en la eficiencia técnica de uso de agua en los diferentes procesos minero-metalúrgicos, eficiencia económica entre las distintas alternativas de cada proceso, prevención de la contaminación, efectos del plan de cierre de El Indio, conflictos entre empresas mineras y agricultores, entre otros.

## Objetivos

### Objetivo Generales

Realizar una caracterización, cuantificación y evaluación del uso de agua de la cuenca del Río Elqui, por parte de las actividades minera y agrícola que se abastecen del recurso hídrico disponible en esta cuenca.

### Objetivos Específicos

1-Conocer la forma de utilización del recurso en la minería y agricultura.

2-Evaluar el grado de eficiencia desde tres puntos de vista: eficiencia física, eficiencia económica y eficiencia social del uso del recurso hídrico aplicado en la forma en que actualmente se hace.

3-Determinar si este uso es sostenible ambientalmente, para detectar si existen ineficiencias en el manejo que puedan ser subsanadas.

4-Considerar aspectos básicos relativos a la economía del agua en la cuenca, en particular el valor de la transacción de los derechos de agua entre los usuarios agrícolas y entre estos y el sector minero.

5-Analizar situaciones de conflictos ambientales asociados a las actividades económicas de la cuenca, en particular agricultura y minería.

6-Analizar aspectos relativos a la economía de la cuenca.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## 1 Descripción General de la Cuenca del Río Elqui

### 1.1 Cuenca Principal y Subcuencas

La Cuenca del río Elqui está ubicada en la Provincia de Elqui, Región de Coquimbo, entre los paralelos 29°34'- 30°27' latitud Sur y meridianos 71°22'- 69°52' longitud Oeste. Al norte limita con las cuencas del Río Huasco, quebrada de Los Choros, Honda y Chacay, al Sur con la cuenca del Río Limarí y las cuencas costeras de las quebradas El Culebrón y Lagunillas, al Este con la Republica Argentina y al Oeste con el Océano Pacífico.

La cuenca tiene régimen pluvio-nival y cuenta con un área de drenaje de 9.645 km<sup>2</sup>. Está compuesta por tres subcuencas: la del Río Turbio, la del Río Claro y la del Río Elqui. El Río Elqui nace de la confluencia de los ríos Claro y Turbio. Estos dos últimos ríos tienen régimen nival (Tabla 1.1).

El caudal del Río Elqui se alimenta del derretimiento de nieve acumulada en la alta cordillera, del escurrimiento de las precipitaciones en forma de lluvia de las subcuencas de menor cota, de los afloramientos y vertientes que se producen a lo largo de su lecho y de los derrames y sobrantes devueltos al río por los canales de riego. En invierno el escurrimiento es principalmente de origen pluvial mientras que en primavera y verano es de origen nival (Galleguillos, 2004). El Río Elqui recibe otros aportes menores de cursos de aguas que no afectan mayormente su hidrología (Figura 1.1), excepto durante episodios de alta precipitación normalmente asociados al fenómeno del Niño (Ciclo ENSO).

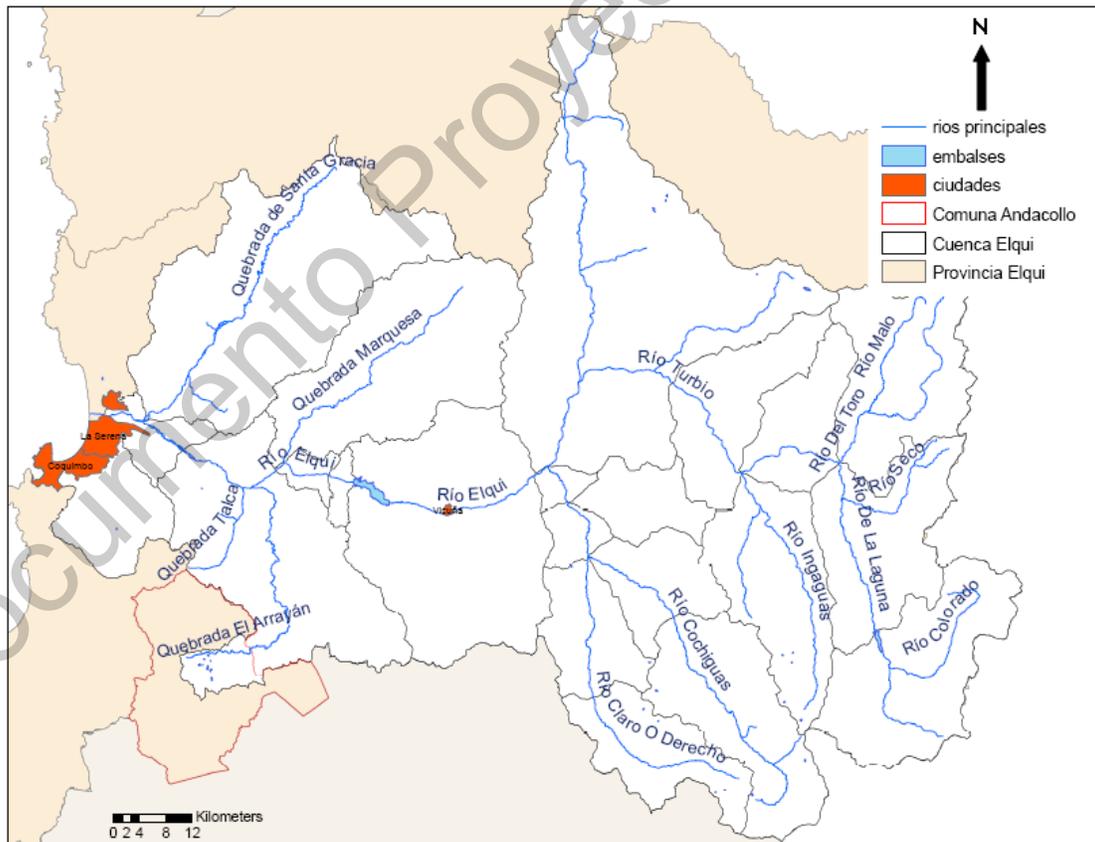
---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Tabla 1.1: Características generales de las subcuencas.

Nombre de subcuenca	Lugar de inicio	Lugar de término	Área aportante km <sup>2</sup>	Caudal Medio m <sup>3</sup> /s	Área de riego Ha
Turbio	Cordillera Alta de los Andes	Confluencia con Río Claro, en nacimiento del Río Elqui	4.196	4,01	385
Claro	Cordillera Alta de los Andes	Confluencia con Río Turbio, en formación del Río Elqui	1.552	2,11	1.893
Elqui	Confluencia del Río Claro con el Río Turbio	Desemboca al océano Pacífico, en la comuna de La Serena	3.897	7,42	20.700

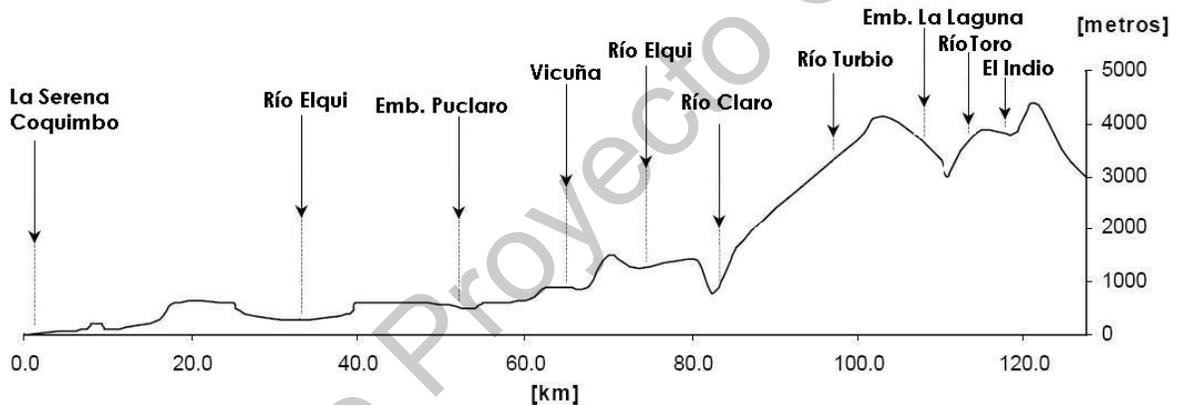
Figura 1.1: Red fluvial de la Cuenca del Río Elqui.



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

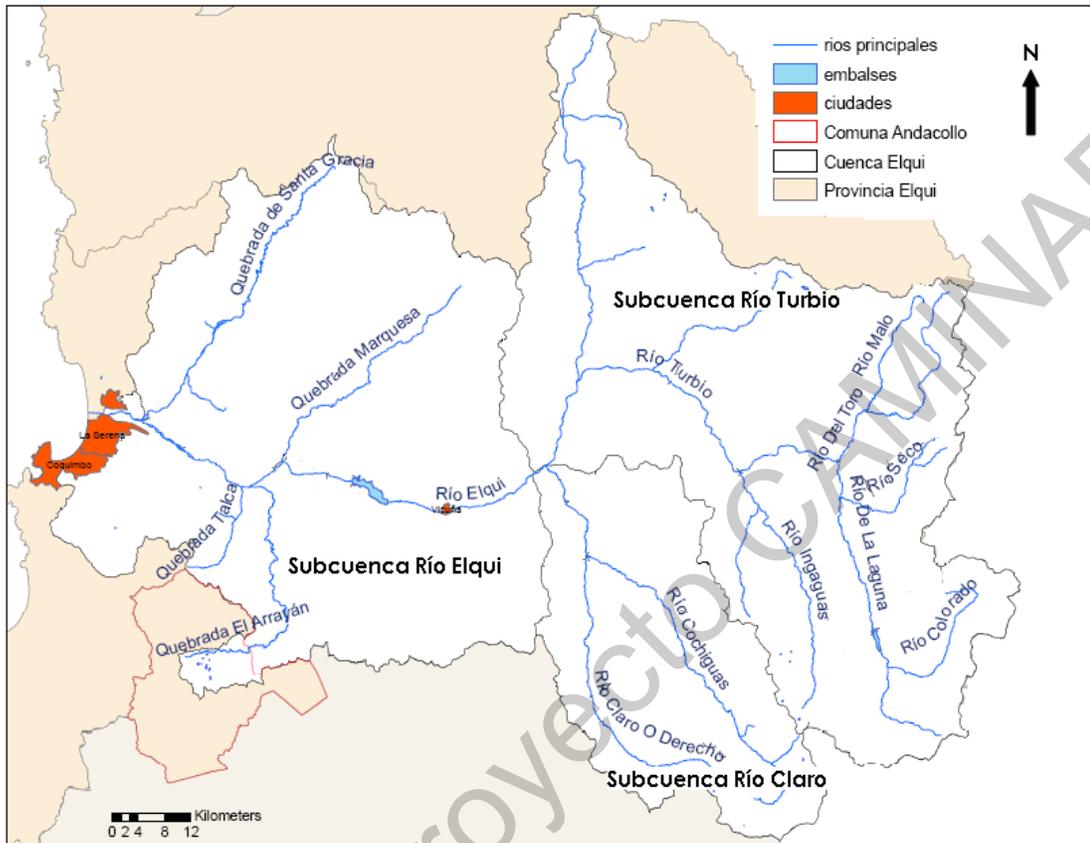
El Río Elqui, y en parte el Río Turbio fluyen en dirección al Oeste. En cambio los Ríos Claro, Ingaguaz y La Laguna lo hacen en dirección Norte. Entre las características particulares que presenta esta red fluvial, está su fuerte gradiente, especialmente notable en los tributarios del río Elqui, debido a que el relieve desciende desde 4.000 m.s.n.m. (nacimiento del Río Toro en la unión de los Ríos Malo y Vacas Heladas), a 815 m.s.n.m en la unión de los Ríos Turbio y Claro, en el sector Algarrobal, 2 km aguas arriba de Rivadavia, donde nace el Río Elqui. La diferencia de cota de 3.815 m ocurre en 80 km de curso fluvial (Figura 1.2).

**Figura 1.2: Perfil topográfico W – E a la latitud de 30° (Cuenca del Río Elqui) Relieve Cuenca del Río Elqui.**



(Fuente: DGA, 2004)

En la cuenca se desarrollan actividades productivas diversas: la agricultura intensiva, principalmente de uva, con 23.000 hectáreas destinadas para uso agrícola, y la minería, con una presencia de alrededor de 200 operaciones de mediano y pequeño tamaño, estas últimas generalmente artesanales. La población urbana presente en la cuenca es de 325.000 habitantes, mientras que la población rural alcanza los 40.000 habitantes.

**Figura 1.3: Principales subcuencas.**

### 1.1.1 Subcuenca del Río Turbio

La subcuenca del Río Turbio tiene una superficie aproximada de 4.196 km<sup>2</sup>. El Río Turbio nace en la confluencia de los ríos La Laguna y Toro, el que se origina a su vez de los Ríos Vacas Heladas y Malo, donde se encuentra el distrito minero de El Indio. El Río La Laguna posee en su cabecera a 3.150 m.s.n.m, un embalse denominado La Laguna, construido entre 1927 y 1937, con una capacidad de 40 millones de m<sup>3</sup> y escurre de Sur a Norte hasta la junta del Río Toro, que escurre en sentido contrario. Desde esa confluencia, el Río Turbio cambia repetidamente de orientación (Tabla 1.2).

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Tabla 1.2: Principales ríos de la subcuenca del Río Turbio.**

Nombre de subcuenca	Principales ríos	Longitud km	Dirección
Turbio	Vacas Heladas	60	N-S
	Del Toro y Malo	70	N-S
	De La Laguna	65	S-N
	Turbio	50	En general E-W, pero con varios cambios de dirección (figura 1.3).

La subcuenca del Río Turbio al Este y al Sur limita con la Cordillera de los Andes que la separa de las cuencas argentinas. Los cerros más altos de esta zona son, de Norte a Sur, el cerro Olivares (6.255 m.s.n.m.). Al Suroeste limita con la subcuenca del Río Claro, hasta la junta con este río, separando a ambos un cordón montañoso con altitudes sobre los 4.200 m.s.n.m. Al Norte limita con la cuenca del Río Carmen (Río Huasco) de la que esta separado por la Cordillera de la Punilla, con altitudes sobre 5.000 m.s.n.m., como la del cerro Doña Ana (5.690 m.s.n.m.). Al Oeste y al Norte de la junta de los ríos Turbio y Claro, limita con la quebrada de Los Choros, de la que está separada por la sierra de Las Chacritas y con la Cuenca baja del Río Huasco, existiendo un cordón, montañoso con cerros sobre los 3.000 m.s.n.m., como el cerro Manantiales (3.746 m.s.n.m.) y cerro Los Porotos (3.435 m.s.n.m.).

Los recursos hídricos de esta subcuenca son originados principalmente por el derretimiento nival desde la alta cordillera. Otros aportes hídricos lo realizan el Río Colorado y los esteros Huanta y Los Tilos. La zona de riego es pequeña, 385 hectáreas, y se desarrolla en terrazas, mayoritariamente en los últimos 12 km de su recorrido hasta la unión con el Río Claro.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 1.1.2 Subcuenca del Río Claro

La subcuenca del Río Claro, denominado Estero Derecho en su primer tramo, tiene una superficie de 1.552 km<sup>2</sup> y corre aproximadamente de Sur a Norte hasta su confluencia con el Río Turbio. Nace de la junta del Río Cochiguaz con el Estero Derecho. El Estero Derecho nace en el Cerro del Volcán (3.510 m.s.n.m.) y después de correr un corto tramo de Este a Oeste, cambia paulatinamente de dirección hasta escurrir de Sur a Norte. Al Este del Río Claro, escurre en dirección aproximada SE-NO el Río Cochiguaz, que nace en la Cordillera de los Andes en el cerro Punta Accesible (4.785 m.s.n.m.). Se une al estero Derecho en el pueblo de Montegrande a unos 20 km de la unión de los ríos Turbio y Claro (Tabla 1.3 y figura 1.3).

Tabla 1.3: Principales ríos de la subcuenca del Río Claro.

Nombre de Subcuenca	Principales ríos	Longitud km	Dirección
Claro	Cochiguaz	50	SE-NW
	Esteros Derecho	50	S-N
	Claro	20	S-N

La subcuenca del Río Claro tiene una orientación SE-NW, limita al Este con la Cordillera de los Andes, con cerros sobre los 4.500 m.s.n.m. Al Sureste limita con la Cuenca del Río Hurtado (Río Limarí) de la que lo separa un cordón montañoso con cerros sobre los 4.000 m.s.n.m. Más al norte, limita al E con la subcuenca del Río Turbio, SW, W y N lo hace con la subcuenca del Río Elqui.

Sus recursos hídricos provienen, principalmente de deshielos de nieve de alta cordillera y ocasionalmente existe régimen pluvial, a causa de las crecidas generadas por los grandes temporales que algunos años ocurren en época invernal; otros aportes hídricos menores lo realizan el estero El Sepo y la Quebrada Larga. La zona de riego abarca una superficie de 1.893 hectáreas, que se desarrollan en la caja del río y en los faldeos de los cerros.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 1.1.3 Subcuenca del Río Elqui

La subcuenca del Río Elqui, recibe el aporte de de las subcuencas de los ríos Claro y Turbio. Tiene una superficie de 3.897 km<sup>2</sup> y se puede subdividir en dos cuencas menores: la primera comprendida entre la junta de los ríos Claro y Turbio y la Quebrada Marquesa, y la segunda entre la Quebrada Marquesa y el Océano Pacífico, donde su planicie aluvial experimenta un notable ensanchamiento (Galleguillos, 2004).

El Río Elqui escurre de Este a Oeste con pequeños cambios de dirección a lo largo de su curso (Tabla 1.4). Ocasionalmente recibe aportes importantes, de sus propias quebradas laterales, producto de los escurrimientos originados por las lluvias de invierno. Las mencionadas quebradas se encuentran tanto al norte como al Sur del Río Elqui. Al norte está la quebrada de Santa Gracia, donde se está el Distrito Minero Lambert, y la quebrada de Marquesa, donde se encuentra el Distrito Minero Talcuna. Por el sur destacan las quebradas de Las Mallejas, Paihuano, San Carlos, La Calera, Talca y El Arrayán, está última une la Cuenca del Elqui con el distrito minero Andacollo.

Tabla 1.4: Principales ríos de la subcuenca del Río Elqui.

Nombre de Subcuenca	Principales ríos	Longitud km	Dirección
Elqui	Elqui	70	E-W

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

La subcuenca del Río Elqui limita al Este con las subcuencas de los ríos Turbio y Claro. Al Sur limita con la Cuenca del Río Hurtado, estando separadas por un cordón montañoso cuyos cerros más altos son el cerro Negro (2.725 m.s.n.m.) y el cerro Chinchado (2.190 m.s.n.m.). Al Oeste limita con las cuencas costeras de las quebradas Culebrón y Lagunillas, siendo los cerros que las separan de baja altitud, donde la mayor altitud corresponde al cerro Pastos Blancos (1.280 m.s.n.m.). Al norte limita con las quebradas de Los Choros, Honda y Chacay, separada de ellas por una cadena de cerros de poca altitud generalmente inferior a las 2.000 m.s.n.m.

Con el objetivo de mejorar la seguridad de riego, afectada por la irregularidad interanual de las precipitaciones, se construyó el embalse Intendente Fuentealba (Puclaro), que entró en funciones el año 2000. Este embalse beneficia a aproximadamente 20.700 ha, tiene capacidad de 200 millones de m<sup>3</sup> y se sitúa 20 km aguas abajo de la ciudad de Vicuña, aproximadamente en el curso medio del Río Elqui (Figura 1.1).

## 1.2 Clima de la Cuenca

### 1.2.1 Factores que determinan el clima

En general el clima está controlado por factores como las corrientes atmosféricas y oceánicas, la latitud y la altura. En el caso de la Región de Coquimbo, un factor dominante del clima es el Anticiclón del Pacífico que provoca el permanente bloqueo de los sistemas frontales provenientes del SW, causante de lluvias. La presencia del anticiclón da forma al carácter semiárido de la zona. Sin embargo, durante los años de ocurrencia de Fenómeno del Niño (Ciclo ENSO), el anticiclón se desplaza hacia el norte, y la región puede recibir precipitaciones 2 o 3 veces superiores a lo normal. Por otra parte, pese a que las precipitaciones en la desembocadura de la Cuenca son del orden de sólo 90 mm en años normales, ellas llegan a duplicarse en la cabecera de la cuenca, lo que determina efectivamente el caudal de los ríos (Galleguillos, 2004).

Por otra parte, el relieve propio de las cuencas posee gran importancia en las características de su clima, ya que su forma controla el ingreso hacia tierras interiores de las masas de aire húmedo y de los escasos sistemas frontales que alcanzan estas latitudes.

La Corriente de Humboldt tiene un efecto moderador del régimen térmico, estabilizador del aire y sobre la tasa de evaporación del agua, limita la formación de nubes que generan precipitación. Finalmente la fisiografía de la región, controla la intrusión de masas de aire marino que transportan la neblina costera hacia los valles (Tabla 1.5).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Tabla 1.5: Factores que determinan el clima de la Región de Coquimbo.**

<b>Factor</b>	<b>Descripción del factor</b>	<b>Efecto en el clima</b>
Anticiclón del Pacífico	Zona de altas presiones que se ubica en el Océano Pacífico al norte de la latitud de Taltal en los meses de invierno. En verano, alcanza su posición más austral, a la latitud de Valparaíso y con un área de influencia hasta la altura de la isla de Chiloé	Es el responsable de la dirección de los vientos dominantes y de la ocurrencia de lluvias invernales. Durante el verano bloquea los sistemas frontales, dando así el carácter semiárido de la zona
Corriente fría de Humboldt	Corriente oceánica fría que se mueve hacia el norte a lo largo de la costa de Chile y Perú, activada por el régimen de viento predominante en el borde oriental del anticiclón subtropical del Pacífico	Tiene importantes efectos sobre las temperaturas, moderándolas. Provoca que las isotermas se orienten paralelas a la costa y que aumenten hacia el interior
Relieve	Caracterizado por la presencia de la cordillera de los Andes y por el relieve característico de la zona de los valles transversales (donde no existe la depresión topográfica central propia del sur y extremo norte del País)	Las características del relieve, favorecen o impiden el ingreso hacia tierras interiores de las masas de aire húmedo y de los escasos sistemas frontales que se presentan

Fuente: Galleguillos, 2004.

### 1.2.2 Clima de la cuenca del Elqui

La Cuenca del Río Elqui, presenta tres tipos climáticos: el Estepárico Costero o Nuboso, el de Estepa Cálida y el Templado Frío de Altura (DGA, 2004):

- Clima Estepárico costero o Nuboso: se presenta a lo largo de toda la costa, hasta los 800 m.s.n.m. Su influencia llega hasta el interior hasta 40km, por medio de los valles transversales y quebradas. Sus mayores características es la abundante nubosidad; humedad, temperaturas moderadas, con un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales con un período seco de 8 a 9 meses.

- Clima de Estepa Cálida: este clima se sitúa en el valle del río Elqui, por sobre los 800 m.s.n.m., hasta los 3.000 m.s.n.m., y se caracteriza por la ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Sus temperaturas son mayores que en la costa, las precipitaciones promedio anuales son 90 mm, sólo aumentadas los años con presencia del fenómeno de El Niño, oportunidades en que esta cifra puede doblarse o triplicarse. Las temperaturas medias aumentan al adentrarse por el valle de Elqui, teniendo temperaturas máximas a los 1.200 m.s.n.m., luego comienzan a disminuir nuevamente. En invierno se presentan intensas heladas.

- Clima Templado Frío de Altura: este clima se localiza en la Cordillera de Los Andes sobre los 3.000 metros de altitud con características de altas precipitaciones, temperaturas bajas y nieves permanentes que constituyen un aporte significativo de agua en el período estival.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 1.2.3 Fenómenos de El Niño y La Niña

De acuerdo a la explicación del “Fenómeno del Niño” de la Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.cl](http://www.meteochile.cl)), el anticiclón subtropical del Pacífico se debilita en el sector oriental (frente a Chile) producto del debilitamiento de los vientos alisios, lo que implica el transporte de aguas calientes hacia las costas sudamericanas. Ello disminuye los efectos del Anticiclón del Pacífico en la zona central nor-central (“norte chico”) del país y facilita el desplazamiento de los sistemas frontales que provienen de la región oeste del pacífico. Esta condición atmosférica, aumenta la frecuencia de bandas nubosas frontales y las intensifica, generándose así una mayor cantidad de precipitaciones.

En los años 1997 y 2002, que son precisamente los años de mayor cantidad de precipitaciones de la última década, se asocian directamente a la ocurrencia del fenómeno de El Niño. En cambio el año 1998 y 2007, de bajas precipitaciones, se asocia a la presencia de fenómeno de La Niña, el cual se origina por la intensificación de los vientos alisios. Ello favorece el arrastre de aguas superficiales más frías que existen en la región oriental del Pacífico hacia la parte occidental, lo que a su vez origina que la zona de altas presiones ubicadas en la parte norte y central de Chile y área oceánica, aumente en intensidad y extensión espacial, impidiendo el ingreso de sistemas frontales y el desarrollo de nubosidad asociada a precipitaciones en las zonas centrales y sur de Chile.

El fenómeno de El Niño y La Niña han sido agrupados en la sigla ENSO (El Niño Southern Oscillation).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## **2 Recurso Hídrico de la Cuenca del Río Elqui**

### **2.1 Aguas Superficiales**

#### **2.1.1 Organizaciones de Usuarios de la Cuenca del Río Elqui**

Actualmente, los usuarios de las aguas de la Cuenca del Río Elqui, están agrupados en dos Juntas de Vigilancia: la Junta Vigilancia del Río Elqui y la Junta de Vigilancia del Estero Derecho.

El primer Rol de regantes existente en la cuenca fue la Asociación de Canalistas del Río Coquimbo y sus Afluentes, conformada en junio de 1943 y contemplaba 191 bocatomas o encauzamientos.

El Estero Derecho, como tributario sólo ocasional del sistema, formó una Junta de Vigilancia independiente en 1968.

El 11 de Junio de 1993 se constituye la Junta de Vigilancia del Río Elqui y Sus Afluentes (JVREyA) remplazando a la anterior Asociación de Canalistas del Río Coquimbo. A la fecha, la JVREyA tiene bajo su jurisdicción 117 canales más 6 captaciones a través de elevación mecánica.

En la Junta de Vigilancia del Río Elqui se agrupan los usuarios de las aguas provenientes de los ríos La Laguna, Turbio, Cochiguaz y Claro. En la Junta de Vigilancia del Estero Derecho se agrupan los usuarios ubicados en el Estero Derecho hasta su confluencia con el Río Claro y la Quebrada de Paihuano.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 2.1.1.1 Junta de Vigilancia del Río Elqui

Esta Junta de Vigilancia está integrada por todos los titulares de los derechos de aprovechamiento consuntivos superficiales de carácter permanentes y eventuales de las aguas del Río Elqui. Bajo la administración de la JVREyA hay 24.400 acciones otorgadas en la cuenca. Nominalmente cada acción equivalente a 1 l/s.

Los estatutos de la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus afluentes reconocen las mismas funciones que establece el Código de Aguas, es decir, la distribución de las aguas entre el cauce natural del río y los distintos canales con derechos en el del sector de jurisdicción. Asimismo, dentro de sus funciones le corresponde la aprobación de obras de distribución provisionarias en el cauce del río, para que los canales puedan recibir la plenitud de sus derechos. La obra de distribución comprende la bocatoma en el río y la sección de aforo con su compuerta, regleta, marco de escurrimiento crítico y canal de desagüe de excedentes, todo lo cual debe ser dimensionado de acuerdo con los derechos de aprovechamientos involucrados en cada caso, con la supervisión técnica de la Junta de Vigilancia la que aprobará en forma provisional la obra.

La Junta de Vigilancia tiene la atribución de fijar medidas de distribución extraordinaria, en caso de escasez o sequía, tales como prorratesos o turnos, los que deben ser acatados por todos los canales existentes dentro de su jurisdicción. Además debe velar por el fiel cumplimiento del reparto de las aguas, para lo cual debe verificar el estado de construcción de las obras de distribución y controlar constantemente que la posición de la compuerta sea la adecuada, de manera que la medición indicada en la regleta corresponda al porcentaje de entrega establecido en el momento.

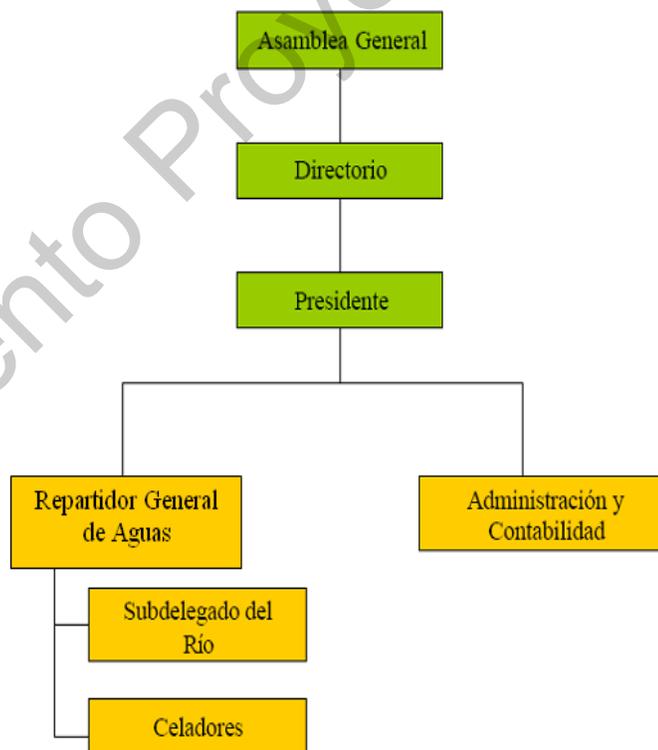
---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

También debe estar pendiente del descuelgue de canales producto de la intervención de terceros o de la propia naturaleza y además atender los reclamos y sugerencias de los usuarios por situaciones irregulares que se produzcan en la entrega de las aguas, que de alguna forma alteren su normal situación. Además la Junta tiene la responsabilidad de la administración de los recursos recaudados por conceptos de cuotas a los distintos canales asociados, así como la atribución de exigir el pago de las cuotas a los morosos. También está facultada para cortar el suministro de agua a un canal en caso extremo.

La base de la Junta de Vigilancia es de carácter corporativo, al igual que las comunidades de aguas y las asociaciones de canalistas, y sus órganos internos son muy similares (Figura 2.1).

**Figura 2.1: Organigrama de la Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus afluentes.**





**Primera Sección:**

Los Derechos Consuntivos Permanentes, comprenden un total 11.114 acciones netas, que se distribuyen en los siguientes tramos de río con sus respectivos canales alimentados por 77 bocatomas (tabla 2.1).

**Tabla 2.1: Canales y acciones de la primera sección.**

<b>Río</b>	<b>Canales</b>	<b>Acciones</b>
<b>Cochiguaz</b>	Empedrado, Cuesta, Cortadera Alta y Cortaderal	116,69
	Ñipas y Trancas	87,42
	Trapiche	21,86
	Peñon y Algarrobal	52,46
	Huesudo y Ajial Alto	87,42
	Ajial y Molino	87,42
	Cordillera y Zanjeado	64,69
	Alfalfa Alto y Cortadera	43,72
	Pangue	140,15
	Alfalfa Bajo - Churcal	43,72
	Fraile - Chañares, Temblador, Playas y Rodrigones	150,725
	Higueras	27,1
	Junta y Mal paso	65,57
	<b>Total 14 Bocatomas</b>	<b>988,95</b>
<b>Claro - Sector Montegrande</b>	Total	39,13
	Los Ponces	97,31
	La Paloma	116,19
	Que Habita El Monte	16,37
	Estrechura	51,78
	Álamo, Lúcumo y Viña	280,34
	San Francisco	89,26
	Francisco Rojas	89,26
	San Guillermo Alto, San Guillermo Bajo y Quinta de Olegario Alba	179,58
<b>Total 9 Bocatomas</b>	<b>959,22</b>	

Río	Canales	Acciones
<b>Claro - Sector Paihuano</b>	Carmen Rodriguez	79,48
	Chañares	79,48
	Puente	178,85
	Manzano	112,08
	Puente de Piedra	79,49
	Río Claro	49,16
	Las Juntas	22,26
	Los Aguirres y Las Yeguas	344,17
	Santa Gertrudis Primero	201,79
	Santa Gertrudis Segundo	56,52
	Tres Cruces	46,9
	Culebrón	88,23
	Molino	234,49
	Bajada	143,08
	El Olivo	93,79
<b>Total 15 Bocatomas</b>	<b>1.889,77</b>	
<b>Turbio</b>	La de Los Pinto	46,56
	Samuel Rodriguez	20
	Jacoba Cortés	76,65
	Lechuza Primero	38,18
	Lechuza Segundo	56,55
	Tapalca y Totoralillo	286,21
	Varillar Alto	279,38
	Varillar Bajo y Molino	263,55
	Toma de Iglesias	279,38
	Casa Rosada	75
	Andrea Segundo	13
	Lechuza Tercero	15,77
	Chapilca	270,53
	Barraza	52,3
	Las Mercedes	152,73
	San José	299,86
<b>Total 16 Bocatomas</b>	<b>2.225,65</b>	

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Río	Canales	Acciones
Elqui - Sector Vicuña	Pedro Cerda	123,12
	Alto Campana	79,22
	Peralillo	983,14
	Cañas	40,56
	Rincón	125,99
	Pencas	187,07
	Molino	57,27
	Espanta	160,83
	Compañía	487,53
	Lucas Morán	31,97
	San Carlos y La Higuera	264,52
	Los Romeros	207,59
	Algarrobal	48
	Miraflores	498,09
	Pullyes	102,13
	Diaguitas	95,45
	San Isidro	314,97
	Puente de Chulo	31,97
	Olivo	38,18
	Puntilla	100,22
	Barranca	341,8
	Hierro viejo, Huancara, Villa Partera, Molino de Miranda y molino de Rivera	617,72
	Yungay	113,07
	<b>Total 23 Bocatomas</b>	<b>5.050,41</b>

**Segunda Sección:**

Los Derechos Consuntivos Permanentes, comprenden un total 1.051,14 acciones netas, que se distribuyen en los siguientes tramos de río con sus respectivos canales alimentados por 9 bocatomas (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2: Canales y acciones de la segunda sección.**

<b>Río</b>	<b>Canales</b>	<b>Acciones</b>
<b>Elqui</b>	Punta Azul	143,91
	Polvada	22,52
	Porotal	26,3
	Maitén Alto o Delirio	515,24
	Gualiguaica	170,92
	Manchigue	62,92
	Aguas de Pangué	36,34
	Puclaro Primero y Puclaro Segundo	38,39
	Quiscal	34,6
	<b>Total 9 Bocatomas</b>	<b>1.051,14</b>

### Tercera Sección

Los Derechos Consuntivos Permanentes, comprenden un total 12.242,86 acciones netas, que se distribuyen en los siguientes tramos de río con sus respectivos canales alimentados por 22 bocatomas (Tabla 2.3).

Tabla 2.3: Canales y acciones de la tercera sección.

Río	Canales	Acciones
Elqui	La Calera	624,33
	Titón	175,65
	Bellavista	3.888,45
	Hinojal	294,37
	Saturno	348,28
	Aguas del Valle	550
	Algarrobito, Quilacán y Aracena	177,64
	Herradura	1.158,48
	La Pampa	583,48
	Culcatán	200,07
	Tejar Primero y Tejar Segundo	165,17
	Cruz del Molino	134,76
	Casuto	26,3
	Marquesa	365,42
	San Pedro Nolasco	766,14
	Cutún y Las Rojas	399,03
	El Romero	1.133,48
	San José de Bellavista	34,76
	Altovalsol	399,03
	Coquimbito	399,03
	Callejas	284,23
	Lambert	134,76
	<b>Total 22 Bocatomas</b>	<b>12.242,86</b>

### 2.1.1.2 Junta de Vigilancia del Estero Derecho

La Junta de Vigilancia del Estero Derecho fue aprobada por Decreto Supremo N° 26 de 10 de enero de 1977 del Ministerio de Obras Públicas. Esta Junta de Vigilancia entrega agua a un total de 19 bocatomas con un total de 2.985,42 acciones brutas y ejerce jurisdicción sobre los siguientes canales (Tabla 2.4).

**Tabla 2.4: Canales y acciones Junta de Vigilancia del Estero Derecho.**

Canal	Acciones
Arenal	134,3
Asiento	148,3
Cuestas	421,14
Jarilla	335,7
Hualtata	67,48
Horcón	9,16
San Juan	76,3
Greda	269,56
Medio	85,44
Molino	144,56
Maqui	54,92
Rojas Pinto	77,38
Placeta	236,52
Pozo	163,26
Pangue	262,46
Pabellón	308,22
Ortiga	56,46
Viga	115,96
Viguita	18,3
<b>Total 19 Bocatomas</b>	<b>2.985,42</b>

## 2.1.2 Sistema de Regulación Hidrológica en la Cuenca del Río Elqui

El sistema de regulación hidrológica en la Cuenca del Río Elqui está compuesto por dos embalses conectados entre si, almacenan 240 millones de m<sup>3</sup> de agua y de una extensa red de canales de riego que se alimentan desde bocatomas y captaciones de elevación mecánica. El sistema tiene capacidad de distribuir un caudal de medio de 7.400 l/s gracias al embalse Puclaro.

### 2.1.2.1 Embalse La Laguna

El embalse La Laguna (Fotografía 2.1) posee una capacidad real de almacenamiento 35.656.138 m<sup>3</sup> de agua (capacidad ligeramente mayor en caso que el vertedero se encuentra con carga). Este embalse se empezó a construir el año 1927, pero en 1941 empieza a operar normalmente con 40.164.000 m<sup>3</sup>. Posee una capacidad evacuación de 50 m<sup>3</sup>/s.

Históricamente, en el año 1933, el embalse comenzó a prestar servicio a la agricultura, almacenando alrededor de 15.500.000 m<sup>3</sup>. En 1934 quedó terminada la obra de toma y rebalse y en 1937 se dio por terminada la obra, restando algunos pequeños trabajos que fueron realizados posteriormente para su mayor seguridad. En 1942 se llenó hasta alcanzar los 32,25 m de agua, faltando sólo 25 cm para rebalsar. En 1943 se hizo llegar a su cota máxima (Morales, 2005).

La obra consiste en un tranque de tierra arcillosa, con cortina de concreto armado en la parte inferior y con recubrimiento de enrocado. La cortina de concreto armado está colocada al centro de la presa en su parte inferior. Tiene un metro de espesor de la fundación hasta un nivel de tres metros más alto que el lecho del río y luego 0.20 m desde esa altura hasta 14 m.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

El agua que entrega el embalse, llega a un pique por 3 túneles de aducción situados a 7 m, 17 m y 32.5 m bajo el nivel del vertedero. Los dos túneles superiores son controlados por 4 válvulas de espejo de 500 mm cada una y el túnel inferior por 2 válvulas de espejo de 700 mm. El agua del pique de toma es evacuado al río La Laguna por un túnel de 48 m de largo y 2,87 m<sup>2</sup> de sección que conecta con el túnel By-pass, inmediatamente después del taco con que fue cerrado al terminarse la construcción del tranque.

**Fotografía 2.1: Embalse La Laguna.**



Fuente: [www.ríaelqui.cl](http://www.ríaelqui.cl)

### 2.1.2.2 Embalse Intendente Renán Fuentealba (Puclaro)

Con el propósito de retener los recursos hídricos sobrantes escurridos hasta el mar y regular las cuencas ante la gran irregularidad de las precipitaciones es que la Dirección de Obras Hidráulicas desarrolló en el año 1995, un proyecto para la construcción del Embalse Puclaro (Fotografía 2.2). Este proyecto aprovecha la angostura de la zona de Puclaro y sus características geológicas y estratégicas, características que fueron objeto de variados estudios.

El Embalse Puclaro está ubicado en el Valle de Elqui, a unos 50 km al oriente de la ciudad de La Serena, Cuarta Región de Coquimbo, a 432 m.s.n.m.

Los estudios determinaron que un embalse de capacidad de almacenamiento de 207.000.000 m<sup>3</sup>, con las debidas características técnicas asociadas. El embalse resultaba técnica y económicamente factible, el proyecto fue finalmente aceptado por los regantes dentro del Decreto Ley 1.123 (de riego).

En marzo de 1996 se aprueba su construcción, En agosto del mismo año se inician las obras que permiten que al día 15 de Octubre de 1999 puedan estar en condiciones de iniciar el llenado del embalse, pese las pérdidas causadas por los temporales de agosto de 1997, que dañan las obras y alteran el plan de trabajo.

El embalse, de generación multianual regula el Río Elqui, permitiendo una adecuada seguridad de riego a 20.700 ha aproximadamente, lo que significa más que duplicar las áreas regadas antes de la construcción.

La obra beneficia a 2.508, de predios con un tamaño medio de 8 ha por predio.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

La zona de inundación tiene 760 ha, con longitud máxima de 7 km. Esta área de inundación abarca las localidades de Manchihue y Gualliguica, incluidas las bocatomas de los canales del mismo nombre y los canales Puclaro y Polvada y parte del sector de Punta Azul.

**Fotografía 2.2: Embalse Puclaro.**



Fuente: [www.ríodelqui.cl](http://www.ríodelqui.cl)

### 2.1.3 Pérdidas por conducción

Las pérdidas en la distribución de agua en la red de canales de la Cuenca del Río Elqui se estiman por la Junta de Vigilancia que llegan al 40%. De este total, la evaporación contribuye aproximadamente con el 5%, mientras que las fugas, infiltración y problemas de manejo son responsables del 30, 30 y 35% del total, respectivamente.

### 2.1.4 Distribución interna del agua

La distribución del agua al interior de los canales se realiza por métodos muy diversos. Hay marcos partidores (como en los canales Bellavista y Pampa Alfalfares) y la mayoría de los canales tiene compuertas para su distribución interna. Estas compuertas se encuentran en estado descrito desde bueno hasta malo, o simplemente mangueras (canal Ñipas Trancas).

Las organizaciones de usuarios, sean Comunidades de Aguas o Asociaciones de Canalistas, son agrupaciones que acogen a un grupo de usuarios comunes de las mismas obras de captación y conducción de aguas, con el objeto de utilizar las aguas a las que tienen derecho, mediante un ordenamiento específico que evite conflictos sociales. Para lo anterior se reúnen y sesionan en forma ordenada para adoptar decisiones que son obligatorias para todos sus integrantes.

Estas comunidades tienen la finalidad concreta de extracción de las aguas desde una fuente natural, en este caso el Río Elqui o alguno de sus afluentes, para conducir las mediante canales propios hasta la zona en que se utiliza y luego distribuirlas entre los usuarios con derechos a ellas, en la proporción legal. Además deben conservar y mejorar las obras por lo cual la ley les otorga funciones, atribuciones y obligaciones que cumplir.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 2.1.5 Transacción de derechos

No existen problemas de transacción de derechos entre accionistas de un mismo canal, tampoco entre accionistas de canales legalmente constituidos ante la DGA en el Catastro Público de Aguas (CPA). En el caso de que se requiera hacer una transacción de derechos en canales no constituidos, el canalista debe hacer una demanda a la DGA para ingresar al CPA, proceso que llega a demorar años de tramitación.

Otro problema relativo a la transacción de acciones es la capacidad de los canales. Ha ocurrido que se transfieren acciones de un canal a otro, pero en terreno el canal no tiene el aforo (capacidad) suficiente para transportar más agua.

El costo de una acción es variable, dependiendo de la ubicación del canal y la demanda de agua en el sector. Desde que el embalse Puclaro entró en funcionamiento, los precios de los derechos de aguas han aumentado sustancialmente su valor, llegando a triplicarse como es el caso del canal Bellavista (orden \$ 1-3 millones). Lo anterior es debido a que ahora hay un 85% de seguridad de riego.

El costo de administración que los usuarios deben pagar a la Junta de Vigilancia al año 2008 es de 620 \$/acción - mes, los que se dividen en 50% para administración de aguas y 50% para la administración del embalse. Además deben pagar las cuotas de administración y mantenimiento de canal, cuota que fija cada Asociación de Canalistas o administradores de canal.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 2.1.6 Asesoría Técnica

Las organizaciones de usuarios de agua enfrentan diversos problemas relacionados con sus obras, la administración, las finanzas y los de índole judicial. Por lo tanto, muchas veces es necesario que cuenten con asesoría calificada.

Los canales importantes usualmente contratan dicha asesoría en forma permanente, sin embargo no ocurre de igual modo en los canales pequeños o compuestos por integrantes de bajo nivel socio económico.

Aún cuando se disponga de sistemas de distribución automáticos de las aguas (que no se disponen en la zona), siempre será necesaria la vigilancia de los dispositivos de partición, para evitar su alteración, incluso por accidentes naturales, lo anterior se consigue mediante los celadores. Dichas personas son guardianes o vigilantes remunerados por la comunidad para efectuar tales tareas y responden ante el Directorio de la Organización.

Los canales, inclusive los con revestimiento, requieren anualmente de trabajos de mantención y limpieza, lo que debe efectuarse a veces manualmente y otras por medio de maquinaria, tareas que se efectúan a fines del invierno y comienzos de la primavera, antes del inicio de la temporada de riego artificial.

Cuando se trata de canales grandes, tanto en capacidad como en longitud, se requiere de personal más capacitado los cuales se preocupan de vigilar en terreno el desarrollo del trabajo del personal de campo (Morales, 2005).

En circunstancias extraordinarias, cuando los canales sufren daños por catástrofes naturales o por accidentes, se debe aumentar el personal para los trabajos de reparación, especialmente si tales situaciones ocurren en la temporada de riego.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Para funcionar adecuadamente una comunidad de aguas requiere de:

- a) Obras de estructuras de riego, entre las cuales está la bocatoma, que debe contar con la posibilidad de medir las aguas que se extraerán por ella.
- b) Un canal o acueducto que tenga impermeabilidad razonable y capacidad para conducir los caudales correspondientes.
- c) Marcos partidores u otros dispositivos de distribución que permitan repartir las aguas de acuerdo a los derechos de aprovechamiento de cada uno de los comuneros.

Todas estas obras requieren gastos para su mantención, reparación y mejoramiento, los cuales deben ser normalmente financiados por los usuarios (Morales, 2005).

La necesidad de maquinaria propia se ha hecho evidente, desde vehículos propios hasta maquinaria para la limpieza de canales, por lo que es frecuente que las organizaciones de mayor capacidad cuenten con tales equipos.

### 2.1.7 Financiamiento

Las organizaciones de usuarios en Chile, en lo referido en su organización misma, no tienen apoyo estatal, salvo en ciertas oportunidades. La Dirección General de Aguas ha desarrollado programas con inversión pública para organizar comunidades de aguas e inscribir los derechos de sus comuneros.

Esta concepción de autofinanciamiento, prácticamente única en el mundo, tiene aspectos positivos y negativos. En general permite un sistema autosuficiente, ajeno al Estado y sin intervención de éste, en que todos los problemas del agua y del riego se resuelven por decisiones de los propios interesados. Este esquema da muy buenos resultados en gestión de canales de gran capacidad, en regiones en que la agricultura ofrece gran rentabilidad y en zonas en que la pobreza no es relevante. Por el contrario, en áreas con canales pequeños, de baja productividad agrícola y con una población considerablemente pobre, el sistema no funciona y se produce un círculo vicioso descendente en cuanto al abandono de las obras y pérdida de capacidad de riego (Morales, 2005).

Existe una medida de colaboración del Estado con las organizaciones de usuarios y se presenta con la aplicación de la Ley 18.450 sobre Fomento al Riego y Drenaje manejada por la Comisión Nacional de Riego (CNR). Dicha Ley establece que el Estado, hasta el 1 de enero de 2010 (vigencia de esta ley), bonificará hasta en un 75%, el costo de estudios, construcción y rehabilitación de obras de riego o drenaje, y las inversiones en equipos y elementos de riego mecánico, siempre que se ejecuten para incrementar el área de riego, mejorar el abastecimiento de agua en superficies regadas en forma deficitaria, mejorar la eficiencia de la aplicación del agua de riego o habilitar suelos agrícolas de mal drenaje y, en general, toda obra de puesta en riego, habilitación y conexión, cuyos proyectos sean seleccionados y aprobados en la forma que se establece en esta ley.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Asimismo, se bonificarán los gastos que involucren la organización de comunidades de aguas y de obras de drenaje no organizadas que hayan iniciado su proceso de constitución, reduciendo a escritura pública el acta en que se designe representante común, por las obras e inversiones que ejecuten en los sistemas de riego o de drenaje sometidos a su jurisdicción.

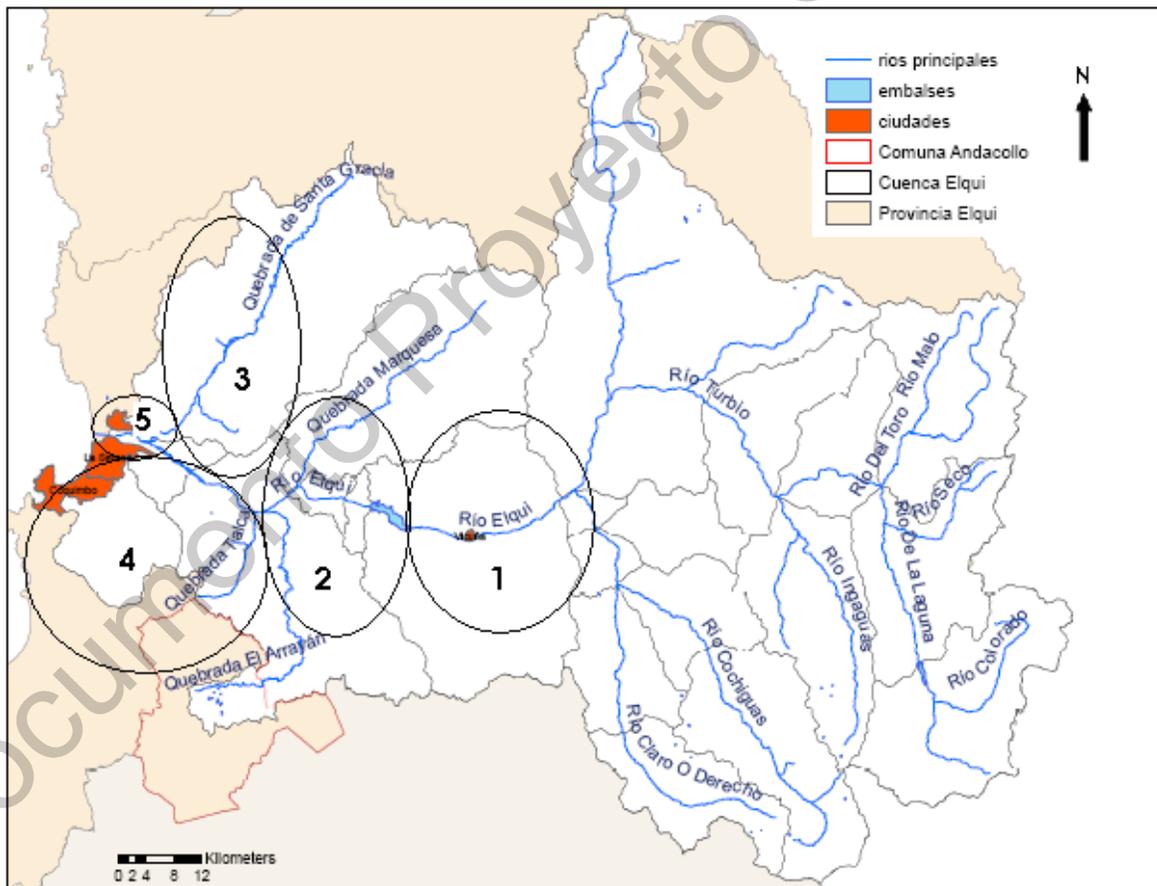
Documento Proyecto CAMINAR

## 2.2 Aguas Subterráneas

En la Cuenca hay almacenados mas de 800 millones de m<sup>3</sup> de agua, de los cuales aproximadamente 500 millones de m<sup>3</sup> se encuentran almacenados en el sector cordillerano de las subcuencas de los ríos Turbio y Claro (Squeo et al, 2001).

Dentro de la subcuenca del Río Elqui se distingue 5 sectores hidrogeológicos de importancia (Figura 2.3), que suman un almacenamiento total de 364 millones de m<sup>3</sup> de agua (DGA, 2003).

Figura 2.3: Sectores hidrogeológicos de la Cuenca del Río Elqui.



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Estos sectores son:

- 1) Sector Alto: Abarca desde la convergencia de los ríos Turbio y Claro hasta la localidad del Tambo.
- 2) Sector Medio: Corresponde al sector ubicado entre la localidad del Tambo y la Quebrada Talca.
- 3) Santa Gracia: Corresponde al sector ubicado en la quebrada Santa Gracia.
- 4) Elqui Bajo: Corresponde al sector ubicado entre la Quebrada Talca y el borde costero.
- 5) Serena Norte: Corresponde al sector ubicado desde el sector norte de la desembocadura del río Elqui hacia el norte incluyendo las áreas de Vegas Norte y Juan Soldado.

El Río Elqui recibe los aportes subterráneos que recargan los acuíferos desde la quebrada tributaria El Tambo (5 a 10 l/s), San Carlos (5 a 15 l/s), Marquesa (5 a 30 l/s), Arrayán (10 a 50 l/s), Talca (3 a 10 l/s), Las Animas (1 a 4 l/s) y Santa Gracia (3 a 10 l/s) (Palo Negro, 2003).

En los sectores acuíferos Sector Alto y Sector Medio (sobre el embalse Puclaro), la explotación previsible de los derechos y usos a respetar en el acuífero es sustentable en el largo plazo, de acuerdo a los derechos solicitados y usos susceptibles de ser regularizados (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5: Oferta y Demanda (l/s) de acuíferos del valle del Río Elqui.**

<b>Sector Hidrogeológico</b>	<b>Oferta Sustentable (l/s)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>
<b>Elqui Alto</b>	967,3	557,7
<b>Elqui Medio</b>	403,8	329,8
<b>Elqui Bajo</b>	1.410,50	1.813,40
<b>Santa Gracia</b>	28,9	100,6
<b>Serena Norte</b>	102,9	167,3
<b>Total</b>	2.913,4	2.968,8

**Fuente: DGA.**

La Dirección General de Aguas ha decidido analizar la situación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Elqui bajo, Santa Gracia y Serena Norte, con el objeto de determinar la conveniencia de declarar área de restricción a dichos sectores acuíferos de aprovechamiento común. Por lo tanto no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de permanente y definitivo en los acuíferos mencionados a partir de la oferta sustentable de cada sector hidrogeológico. El uso de agua subterránea en estos sectores no es sustentable en el largo plazo de acuerdo a los derechos solicitados y usos susceptibles de ser regularizados, además que existe un número no determinado de pozos que operan de forma ilegal y no se lleva registro del caudal que extraen (CAZALAC, 2006).

Por su parte, el sector Pan de Azúcar es un caso inverso al de los acuíferos del valle del Elqui, vale decir, su acuífero presenta un caudal efluente al valle. Se estima que este reservorio subterráneo almacena aproximadamente 80 millones de m<sup>3</sup> de agua (CAZALAC, 2006). Con esta información y haciendo el supuesto que este acuífero no tiene recarga, solamente con los derechos que posee la minera Carmen de Andacollo para su Proyecto Hipógeno (400 l/s), los 80 millones de m<sup>3</sup> de agua se agotarían en 6 años aproximadamente.

Aunque hay pozos para suplir la falta de agua superficial que eventualmente se produce, desde que existe el embalse Puclaro, se ha reducido fuertemente el uso de las aguas subterráneas, incluso en la Cuenca de Pan de Azúcar. De esta cuenca se dice que está muy sobreexplotada lo cual afecta a la cantidad de agua del reservorio a su calidad.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Durante el último tiempo, especialmente en Pan de Azúcar sobre la cota del canal Bellavista que abastece de agua superficial al sector, se han generado demandas cada vez mayores sobre los recursos hídricos subterráneos. Este crecimiento, se produce en un contexto en el cual los recursos superficiales en una buena medida ya están comprometidos en el abastecimiento de los usos actuales, y frente a una creciente valorización del medio ambiente, lo cual constituye una variable más a considerar en esta creciente demanda de recursos hídricos.

Los derechos otorgados en la Cuenca de Elqui y Pan de Azúcar para extracción de agua subterránea son 4.196 l/s.

En cuanto al agua subterránea, no hay ningún tipo de organización de usuarios, por lo cual la DGA es el ente regulador de los derechos de aguas subterráneas, cuya política en relación con la explotación de las aguas subterráneas debe compatibilizar las exigencias legales, con las características físicas de dicho recurso y que tome en consideración las necesidades y los intereses superiores de la Nación. De acuerdo a lo anterior, la acción de la DGA, debe propender a una explotación sustentable del recurso, que no genere menoscabo al derecho de terceros y que no limite innecesariamente su aprovechamiento.

---

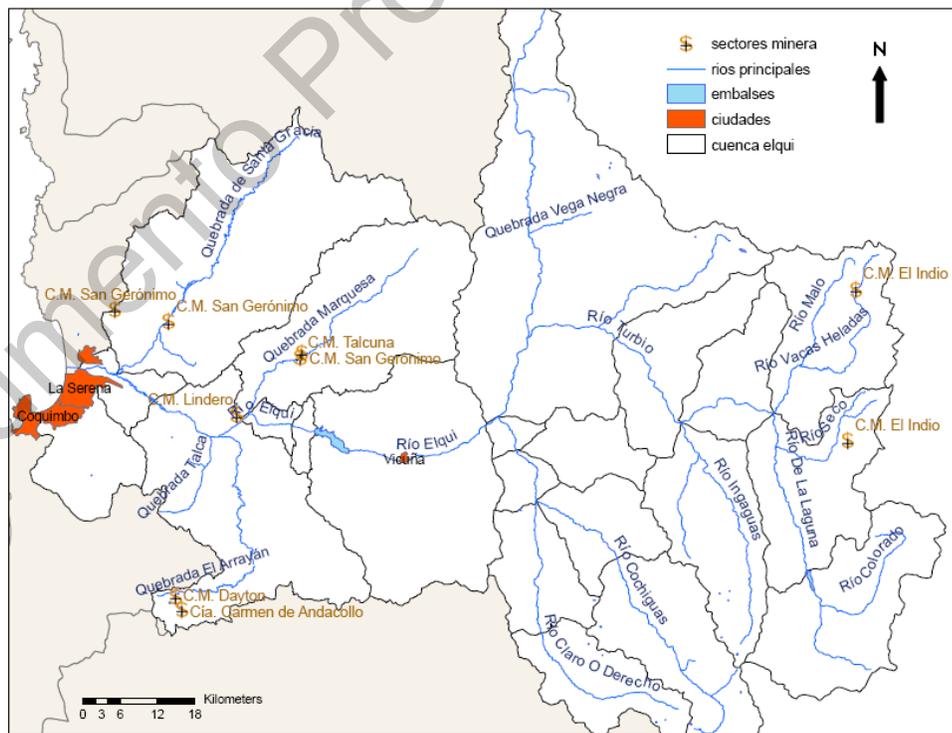
“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3 Minería en la Cuenca del Río Elqui

A través del tiempo, la minería ha tenido un papel muy importante en la historia de la Región de Coquimbo, tanto en los ámbitos tecnológicos, económicos y sociales. A principios del Siglo XIX, Carlos Lambert instaló en el actual sector de “Las Compañías”, en La Serena, el primer horno de reverbero para fundición de cobre de Sudamérica. El mismo Lambert participó en la contratación de Ignacio Domeyko, ingeniero polaco que inicio la enseñanza científica de la minería en La Serena y Chile.

En los últimos 20 años, la minería de la cuenca a niveles industriales se ha concentrado principalmente en tres distritos mineros: El Indio, Talcuna y Lambert, con producción de cobre y oro. También es importante mencionar el distrito de Andacollo, que drena hacia la cuenca a través de la quebrada de El Arrayán, aunque se accede al distrito desde el camino de La Serena a Ovalle (Figura 3.1).

**Figura 3.1: Principales mineras de la Cuenca.**



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

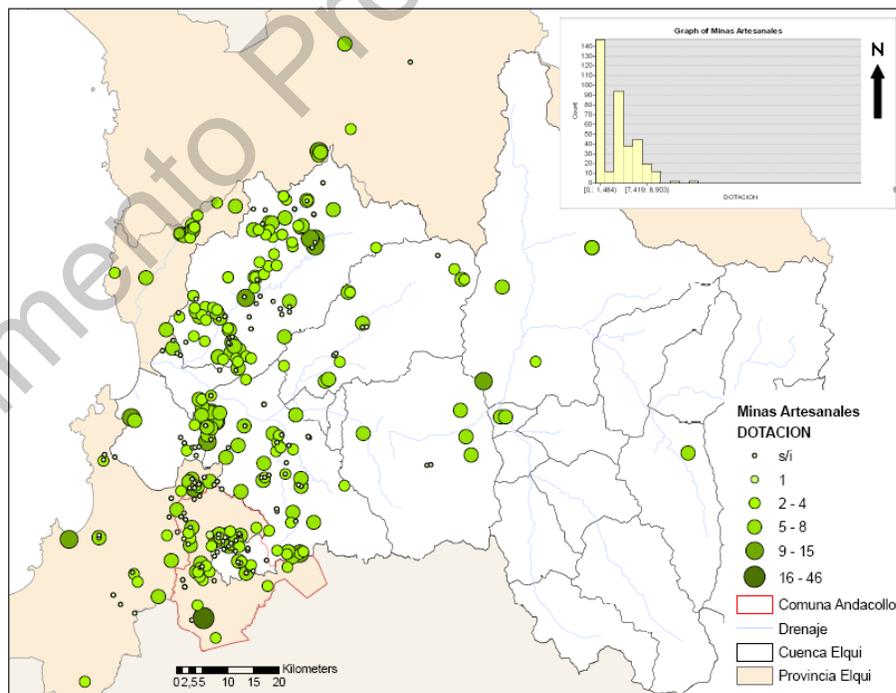
### 3.1 Minería Artesanal

La minería artesanal, que se desarrolla de manera informal y discontinua, está presente en todas las comunas de la Cuenca del Elqui. Según el catastro minero de SERNAGEOMIN del 2004, hay 353 minas, de las que tiene información de 214 en actividad. En total hay 1.251 fuentes de trabajo ligado a la minería artesanal del cobre en la Cuenca del Río Elqui (Tabla 3.1 y Figura 3.2).

Tabla 3.1: Número de minas en registro y trabajadores en registro SERNAGEOMIN.

Comuna	Minas en Registro	Minas Activas	Trabajadores
La Serena	180	120	679
Vicuña	86	47	281
Andacollo	85	45	281
Paihuano	2	2	10
<b>Total</b>	<b>353</b>	<b>214</b>	<b>1.251</b>

Figura 3.2: Minas artesanales de la Cuenca Clasificadas según dotación.



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Los datos anteriores fueron obtenidos de SERNAGEOMIN, y proceden del documento de iniciación de actividades Empadronamiento ENAMI 2004 – 2007. La producción de la minería artesanal es comercializada a través de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI). Entre 1996 y 2006 la minería artesanal de la cuenca comercializó a ENAMI 89.491 t de minerales de cobre y 42.262 t de concentrados de cobre (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2: Producción comercializada a ENAMI de minerales y/o productos durante el periodo 1996 – 2006.**

Agencia Destino	Comuna Origen	Minerales (t)	Productos (t)	Total (t)
Vallenar	Andacollo	0	0	0
	La Serena	3.890	0	3.890
	Vicuña	1.580	0	1.580
<b>Total</b>		<b>5.470</b>	<b>0</b>	<b>5.470</b>
Guayacán - Coquimbo	Andacollo	400	32.700	33.100
	La Serena	180	6.270	6.450
	Paihuano	14	22	36
	Vicuña	115	3.270	3.385
<b>Total</b>		<b>709</b>	<b>42.262</b>	<b>42.971</b>
Panulcillo - Ovalle	Andacollo	44.950	0	44.950
	La Serena	35.460	0	35.460
	Paihuano	67	0	67
	Vicuña	2.835	0	2.835
<b>Total</b>		<b>83.312</b>	<b>0</b>	<b>83.312</b>
<b>Gran total Cuenca</b>		<b>89.491</b>	<b>42.262</b>	<b>131.753</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ENAMI.

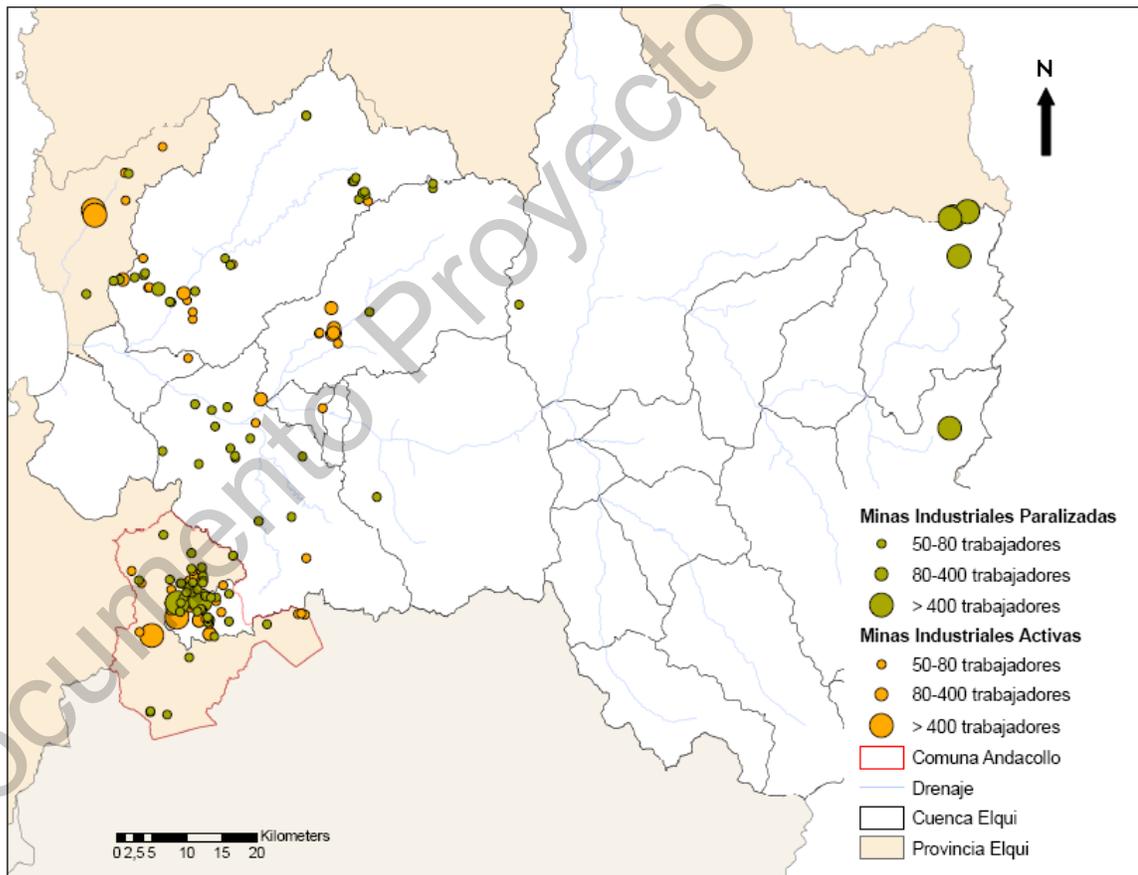
En el transcurso de este trabajo no fue posible acceder a la información necesaria para generar una tabla similar con datos sobre la minería artesanal de oro.

La racionalidad detrás de la actividad del pequeño minero no es única, los incentivos no son siempre los mismos y en gran medida están ligados a la actividad de fomento de ENAMI. En una primera aproximación, se observan dos tipos de pequeños mineros, aquellos cuya presencia está íntimamente ligada a las fluctuaciones del precio del cobre y que, por lo tanto, tienen una presencia itinerante en el sector, y aquellos cuya actividad principal es la minería y que se mantienen en ella aún en condiciones difíciles de precios. En el primer caso, se trata de entradas ocasionales de un grupo generalmente joven, ocupado en otras actividades o desempleados, que viven en zonas mineras o migran a ellas y aprovechan períodos de precios altos vinculándose al sector mediante contratos de arriendo de mina de muy corto plazo. En el segundo caso se trata de mineros de mayor edad, cuya presencia persistente se explica en función de una serie de aspectos culturales que dan forma a la tradición minera, a los que se sumarían la baja aversión al riesgo de sus participantes y en algunos casos a la falta de alternativas de subsistencia (Sánchez, 1996).

### 3.2 Minería Industrial

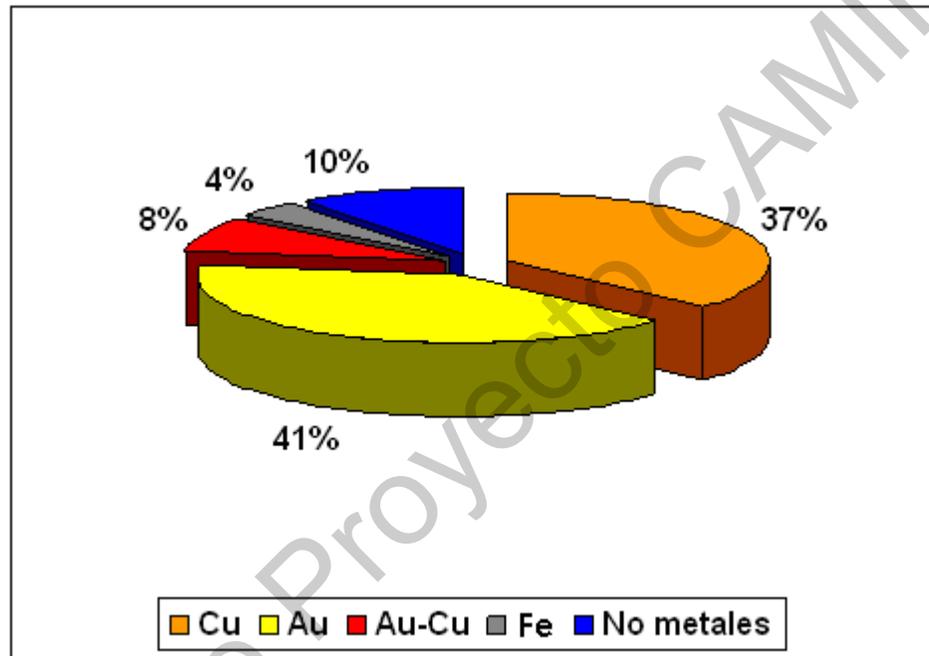
Después del cese de las operaciones mineras en el distrito de El Indio el 27 de Febrero de 2002 la actividad minera a nivel industrial de la cuenca se sitúa principalmente en los distritos Talcuna, Lambert y Andacollo (Figura 3.3). En el primero operan 3 compañías mineras, Compañía Minera Linderos, Compañía Minera San Gerónimo y Compañía Minera Talcuna. En el segundo opera la Compañía Minera San Gerónimo y en el tercero operan Compañía Minera Carmen de Andacollo (Andacollo Cobre) y Compañía Minera Dayton (Andacollo Oro).

Figura 3.3: Faenas mineras de la Cuenca



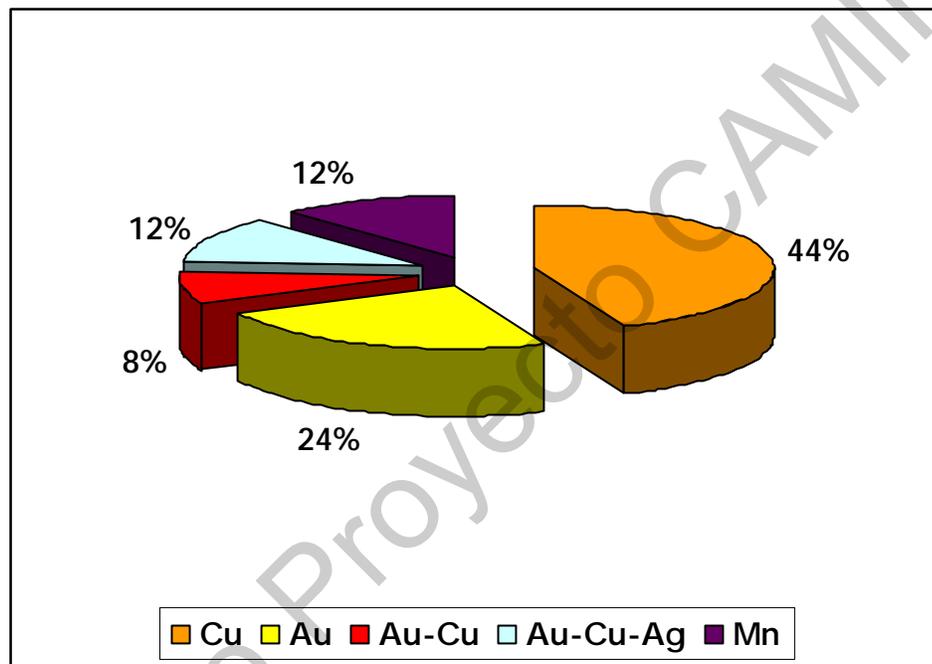
En la comuna de La Serena existen 49 faenas: 14 plantas de las cuales hay 1 en actividad y 13 paralizadas, así como 35 minas, de las cuales hay 15 en actividad y 20 paralizadas. De las 49 faenas el cobre, es el metal principal en 18 de ellas, mientras el oro lo es en 20, oro-cobre en 4 faenas, hierro en 2 faenas, yeso en una faena, y cuarzo en 4 faenas (Figura 3.4).

Figura 3.4: Distribución de faenas mineras según mineral a extraer.



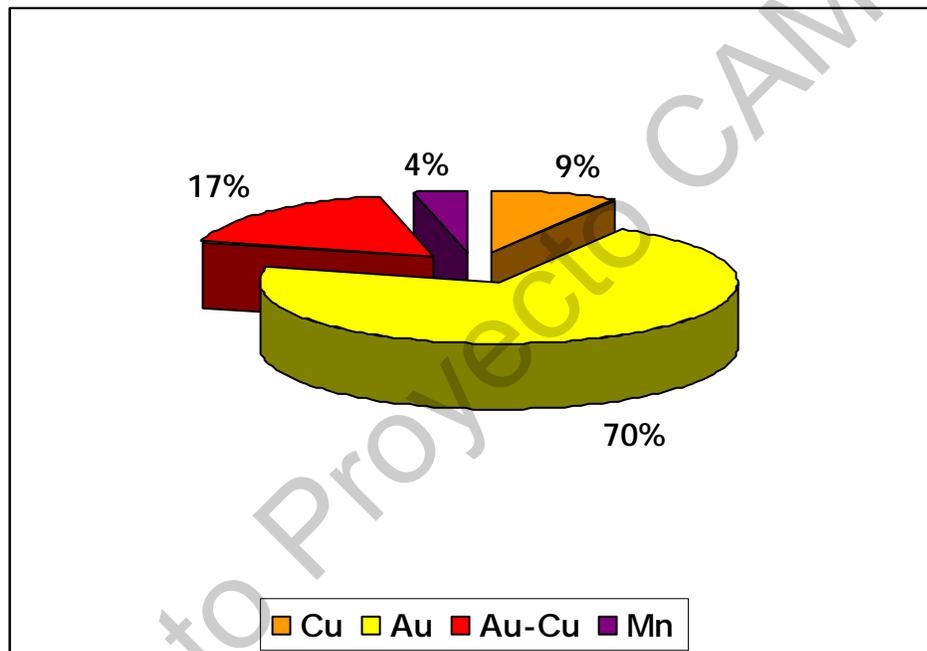
En la comuna de Vicuña existen 25 faenas: 7 plantas de las cuales hay 5 en actividad y 2 paralizadas y 18 minas, de las cuales hay 9 en actividad y 9 paralizadas. De las 25 faenas el cobre es el metal principal en 11 de ellas, el oro en 6, oro-cobre en 2 faenas, manganeso en 3 faenas, oro-cobre-plata en otras 3 (Figura 3.5).

Figura 3.5: Distribución de faenas mineras según mineral a extraer.



En la comuna de Andacollo operan dos importantes empresas de la mediana minería: Carmen de Andacollo (cobre) y Dayton (oro). De un total de 81 faenas: 28 son plantas, de las cuales hay 9 en actividad y 19 paralizadas, y 53 minas, de las cuales hay 25 en actividad y 28 paralizadas. De las 81 faenas el cobre es el metal principal de 7 de ellas, el oro lo es en 57, oro -cobre de 14 faenas, manganeso de 3 faenas (Figura 3.6) (SERNAGEOMIN, 2000).

Figura 3.6: Distribución de faenas mineras según mineral a extraer.



En el año 2000, SERNAGEOMIN realizó una categorización de empresas según la cantidad de trabajadores:

- Categoría A para empresas con más de 400 trabajadores en el total de sus faenas.
- Categoría B para empresas que tienen entre 80 y 400 trabajadores en el total de sus faenas.
- Categoría C para empresas que tienen entre 50 y 80 trabajadores en el total de sus faenas.

Conforme a la categorización realizada por SERNAGEOMIN en La Serena existen 2 faenas categoría A, 3 de categoría B y 44 faenas categoría C. En Vicuña hay 5 faenas categoría A, 6 en categoría B, y 14 faenas categoría C. En Andacollo sitúa 3 faenas categoría A, 7 faenas categoría B, y 71 faenas en categoría. En total hay 1608 fuentes de trabajo ligado a la minería industrial de la Cuenca del Río Elqui (Figura 3.3).

Esta información proviene del Atlas de Faenas Mineras Minas y Plantas, región III y IV, en la cual se considera como faena una mina y una planta por separado. Por ejemplo, en el caso: Faenas categoría A en Vicuña, se refiere a las instalaciones de Compañía Minera El Indio (mina El Indio, mina Tambo, mina Viento, planta El Indio y planta Tambo).

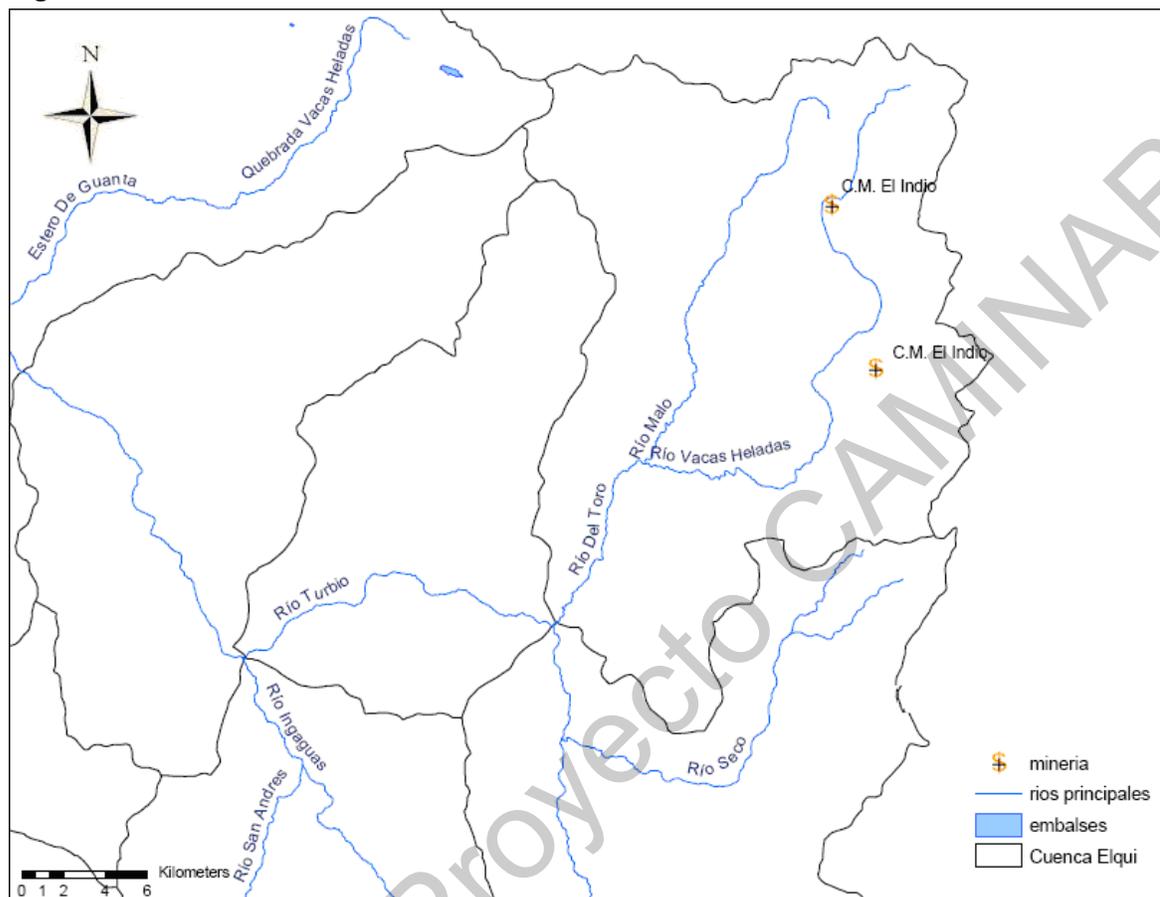
---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### **3.3 Distritos Mineros**

#### **3.3.1 Distrito minero El Indio**

El distrito se encuentra en la comuna de Vicuña, a 180 km al Noreste de La Serena, cerca de la frontera con Argentina, donde se explotó en dos puntos: El Indio y Tambo. Las instalaciones de El Indio se sitúan sobre los 4000 m.s.n.m., en la cabecera de los ríos Malo y del Medio, ambos tributarios del Río del Toro. Las instalaciones de El Tambo se ubican en el sector del mismo nombre que drena hacia el Río Vacas Heladas, también tributario del Río Toro. Se llega por el camino internacional que une las ciudades de La Serena y San Juan (Argentina) hasta el lugar llamado Juntas y luego se sigue por el camino que lleva a los Baños del Toro, desde este lugar se continúa por el valle del Río Malo unos 7 km hasta la mina El Indio (Figura 3.7).

**Figura 3.7: Distrito minero El Indio.**

La geología del distrito minero El Indio-Tambo, es básicamente de granito y granodioritas batolíticas, que datan desde del término del Paleozoico hasta el término del Triásico. El granito basal incluye secuencias de roca volcánica ácida, esquisto/laja, y sedimentos, donde es posible distinguir dos estructuras geológicas que están separadas físicamente por la falla Baños del Toro. La primera estructura geológica, llamada Pastos Blancos y localizada en el lado Oeste de la falla, se reconoce por formaciones consistentes de cuerpos intrusivos del Paleozoico, de dimensiones batolíticas, en una reducida relación con una serie de estratificaciones de formaciones volcánicas ácidas, del término del Paleozoico hasta comienzos del Triásico (Oyarzún).

La segunda estructura geológica, llamada Baños del Toro, se localiza en el lado Este de la falla Baños del Toro y consiste en cuerpos pequeños de rocas intrusivas del período Terciario, que cortan una serie de rocas volcánicas estratificadas de composición intermedia. En torno a ambas estructuras, las cumbres de las montañas se componen de formaciones volcánicas estratificadas de composición intermedia a acídica.

Localmente y de acuerdo a la posición en el bloque oriental u occidental estas unidades se han llamado "Formación Cerro de la Tórtolas" y "Formación Doña Ana". A escala regional, ambas unidades son discordantes y subhorizontales, y en las áreas afectadas por alteración hidrotermal su estratificación actual es difícil de determinar. El control estructural es dominante en dirección Norte-Sur, paralelo al rumbo de la Cordillera de Los Andes (Galleguillos, 2004).

Este distrito minero, durante sus 20 años de operación no sólo produjo oro, sino que también plata, cobre y como subproducto trióxido de arsénico, el que exportó a Canadá y Estados Unidos, abasteciendo a fines de la década del noventa al 30% del consumo mundial de arsénico. La producción acumulada llegó a unas 5,5 millones de onzas (171 t) de oro, 24 millones de onzas (746,5 t) de plata, 500.000 t de cobre y 105.000 t de arsénico. Por otra parte, geólogos de Barrick han estimado que en el yacimiento de El Indio existirían aún reservas de alrededor de 2 millones de onzas (62 t) de oro. Los tranque de relaves de CMEI tienen almacenados, en conjunto 36 millones de t de material estéril (Ingeniero Andino, 2003).

---

"Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales."

A fines de los años 60's y hasta mediados de los 70's el sector era explotado en pequeña escala que consistía en simples calas y socavones de no más de 10 metros de longitud. Se extraía especialmente óxidos de cobre como la chalcantita ( $\text{Cu}(\text{SO}_4) \times 5\text{H}_2\text{O}$ ) los que se disolvían y luego precipitaban con chatarra de hierro en estanques ubicados cerca de los Baños del Toro.

En 1979, El Indio comenzó a ser explotado industrialmente por Saint Joseph Mining Co., con una inversión inicial muy baja. En 1975 pagó US\$ 5 millones por el 80% de las acciones de la mina a inversionistas privados y en 1976 se acogió al Estatuto del Inversionista Extranjero.

Desde entonces la empresa exportó mineral en bruto con un alto contenido de oro, plata y cobre. Informaciones extraoficiales señalan que con estos envíos a "granel" de exportación directa (DSO), se habría pagado la inversión de poco más de US\$ 200 millones de la planta (Fazio, 1981). Es decir, comenzó a producir con una inversión real muy baja y un régimen tributario en extremo ventajoso.

Posteriormente, el control del yacimiento fue traspasándose en el exterior entre distintos capitales foráneos. Primero pasó a poder del grupo australiano encabezado por Alan Bond, quien lo vendió al encontrarse en dificultades financieras a Lac Minerals. Finalmente, en 1994, Lac Minerals vendió todos sus activos, incluyendo los de Chile, a Barrick Gold en US\$ 1.670 millones.

En resumen, la historia de El Indio es un ejemplo de inversión extranjera sobre un yacimiento originalmente no explotado industrialmente y que con un muy bajo capital inicial creció con alta rentabilidad.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.1.1 Faena El Indio

La Planta El Indio, las minas El Indio y Viento y los depósitos de relaves se encuentran ubicados en el valle del Río Malo. La subcuenca del Río Malo se ubica en la cuenca del Río Elqui y tiene un área de 25 km<sup>2</sup>, con un cambio de desnivel de 1100 m.

Las operaciones productivas de El Indio se iniciaron oficialmente en Diciembre de 1981 y finalizaron en febrero de 2002. El plan de cierre fue previsto para realizarse entre noviembre de 2002 y abril de 2004. En 2002 se iniciaron las actividades programadas de movimiento de tierras, descontaminación y desarme de instalaciones.

Debido al poco espacio disponible, la mina y sus instalaciones fueron construidas sobre el curso del Río Malo. Así, éste y algunos tributarios fueron encauzados y/o desviados por tuberías o canales bajo la planta de procesamiento y los depósitos de relaves a un punto de descarga aguas abajo del Tranque de Relaves El Indio. Luego el Río Malo sigue su curso natural hasta el Túnel San José. Este punto colectó las aguas del Túnel San José y se encauzó por una tubería que pasaba bajo la planta de procesos El Indio de 12.000 m<sup>2</sup>.

La mina El Indio fue explotada a cielo abierto y en subterráneo. La mena seca extraída de El Indio era enviada a una planta con capacidad de 2600 t/d. Ahí el mineral era cianurado y flotado. El concentrado (principalmente de la flotación de la enargita) contenía 20 % Cu, 50 g/t Au, 300 g/t Ag, y 8 % As. Dicho concentrado era luego tratado en un tostador para remover el arsénico, el cual después de varios pasos era precipitado como trióxido de As (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.1.2 Faena Tambo

Tambo está ubicado a 5 km al suroeste de El Indio, dentro de la subcuenca del arroyo Tambo, que recibe escurrimiento del cerro Elefante y fluye hacia el estero Los Tambos. El estero Los Tambos se une al río Vacas Heladas, aproximadamente 5 km. aguas abajo, en su confluencia con la quebrada Vacas Heladas. El río Vacas Heladas se une con el río Malo aproximadamente 22 km aguas debajo de la mina Tambo, para formar el río del Toro que finalmente confluye con el río Elqui, a más de 100 km de distancia de la Mina Tambo.

La faena inició sus operaciones en 1995 con una inversión de U\$ 140 millones y desde entonces se tenía contemplado para la explotación una vida útil de cinco años, las cuales finalizaron a mediados de 2000. La mina El Tambo, fue una explotación de rajo abierto cuya capacidad de diseño era de 200 mil onzas de oro al año, la planta Tambo contaba con chancador primario y secundario, molino de bola y molino SAG, que enviaba el mineral a cianuración.

### 3.3.1.3 Aspectos Ambientales del Distrito

El Indio es un distrito que motiva especial preocupación ambiental, debido a su carácter enérgico (presencia de  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ). El distrito y sus zonas de alteración hidrotermal constituyen la principal fuente natural de As del valle de Elqui. Por otra parte existe una fuente natural de drenaje ácido en el distrito (Galleguillos, 2008).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Uno de los principales problemas que CMEI tuvo que solucionar para ejecutar el plan de cierre previsto, fue que la mina y sus instalaciones fueron construidas sobre el curso del río Malo, el que tenía contacto directo con el yacimiento, con la zona de botaderos y con los rajos abiertos que se construyeron. Ello facilita infiltraciones de agua hacia la mina subterránea y hacia el curso de ese río aguas abajo. Las excavaciones desarrolladas por la minería subterránea y a cielo abierto de los últimos 20 años (más de 100 km de túneles y galerías), favorecieron las interacciones roca-aire-agua y, por lo tanto, la producción de drenaje ácido y la contaminación del agua.

Otro factor que se debe considerar, es que producto de la actividad minera, hay importantes volúmenes de desechos minero-metalúrgicos en tranques de relaves en la zona, unos 22 Mt en El Indio y 12 Mt en Tambo, así como en pilas de desmontes y otros depósitos, lo que hace que el plan de cierre de este distrito requiera de especial protección. En efecto, en Galleguillos et al (2008), se indica que el estado de alteración en la calidad química de las aguas en una cuenca hidrográfica árida, es resultado de la interacción de los factores antrópicos con aquellos propios de la naturaleza geológica, geomorfológica y climática de dicha cuenca.

Este distrito también contribuye con una altísima concentración de Cu, Zn y Mo en el agua, contenido metálico que pasa en un alto porcentaje a la fase sedimentos al aumentar el pH del agua (Galleguillos, 2004). En 1970, ENAMI realizó el primer muestreo geoquímico de agua y suelo desde Baños del Toro hasta El Indio. El análisis de los datos disponibles muestra la presencia en forma natural de arsénico en las aguas de los ríos Toro y Malo antes de comenzar las operaciones industriales de Saint Joseph en el distrito (Figura 3.8 y Tablas 3.3 y 3.4).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Tabla 3.3: Análisis de metales en suelos sector Baños del Toro – El Indio (1970).**

<b>Muestra</b>	<b>Análisis</b>	<b>Concentración ppm.</b>
1	Cu	286
	Mo	10
2	Cu	170
	Mo	12
3	Cu	918
	Mo	12
4	Cu	598
	Mo	16
5	Cu	319
	Mo	26
6	Cu	340
	Mo	20
7	Cu	251
	Mo	28
8	Cu	489
	Mo	34
9	Cu	401
	Mo	26
10	Cu	326
	Mo	34

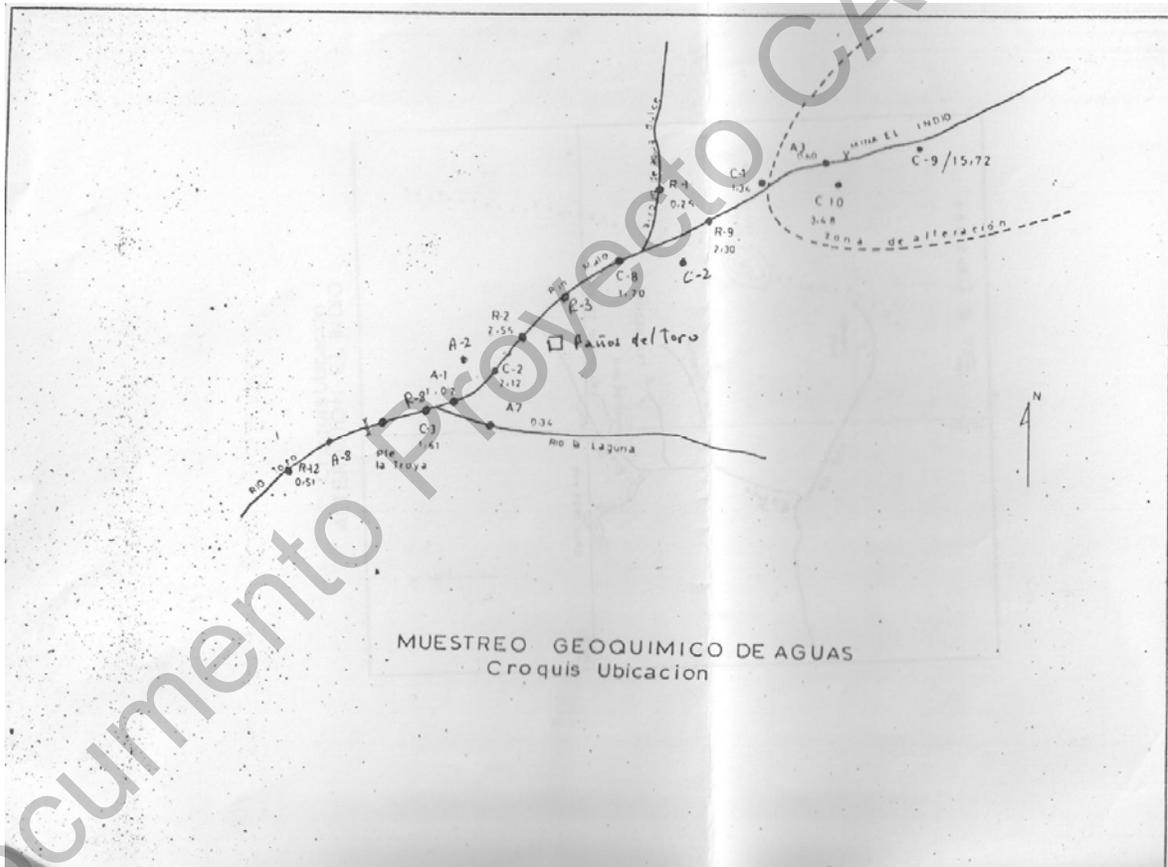
	<b>Cu</b>	<b>Mo</b>
<b>Máximo</b>	918	34
<b>Mínimo</b>	170	10
<b>Promedio</b>	409,8	21,8
<b>Mediana</b>	333	23
<b>Desv. Est.</b>	215,5	9,06

Tabla 3.4: Análisis de metales disueltos en aguas ríos Toro y Malo (1970).

Muestra	Análisis	Concentración ppm.	Muestra	Análisis	Concentración ppm.
A-1	Cu	1,02	C-8	Cu	1,70
	Fe	5,51		Fe	9,58
	As	0,50		As	0,01
A-2	Cu	1,02	C-9	Cu	15,72
	Fe	3,42		Fe	123,12
	As	0,94		As	0,03
A-3	Cu	0,60	C-10	Cu	3,48
	Fe	1,67		Fe	7,10
	As	0,15		As	0,07
A-7	Cu	0,34	B-1	Cu	0,25
	Fe	0,27		Fe	10,34
	As	0,17		As	0,04
A-8	Cu	0,43	B-2	Cu	2,55
	Fe	3,57		Fe	10,49
	As	0,17		As	0,03
C-1	Cu	1,34	B-3	Cu	2,12
	Fe	1,67		Fe	0,30
	As	0,02		As	0,05
C-2	Cu	2,12	B-8	Cu	1,61
	Fe	5,59		Fe	7,00
	As	0,05		As	0,03
C-3	Cu	1,61	B-9	Cu	2,30
	Fe	5,74		Fe	8,59
	As	0,03		As	0,06
			B-12	Cu	0,51
				Fe	0,27
				As	0,06

	Cu	Fe	As
<b>Máximo</b>	15,72	123,12	0,94
<b>Mínimo</b>	0,25	0,27	0,01
<b>Promedio</b>	2,18	11,26	0,12
<b>Mediana</b>	1,61	5,66	0,05
<b>Desv. Est.</b>	3,31	26,59	0,22

Figura 3.8: Monitoreo de aguas y sedimentos en distrito El Indio (1970).



Fuente: ENAMI

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### **Plan de cierre El Indio – Tambo**

Debido a que Minera El Indio inició sus operaciones en 1979 antes de la entrada en vigencia de la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente de 1994, la compañía no estuvo obligada a diseñar un plan de cierre y menos someterlo al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, como lo señala esa ley. Sin embargo, y siguiendo las políticas ambientales corporativas de Barrick Gold Corp, la empresa decidió suscribir un acuerdo voluntario, como una herramienta de validación ambiental público-privada del cierre de sus faenas.

De acuerdo a esto, Cía. Minera El Indio presentó en 2003 efectivamente a las autoridades un estudio de impacto ambiental del cierre de sus operaciones.

Cuando la firma Barrick presentó el estudio del proyecto Tambo adjuntó a éste una serie de compromisos a realizar tras el cierre de las operaciones, con el objeto de prevenir daños en el entorno. Barrick informó que también aplicaría en Tambo las directrices de su política ambiental a nivel mundial, que incluye el manejo responsable de sus minas durante sus operaciones y el cierre de las instalaciones (Ingeniero Andino, 2003).

El plan de cierre consideró limpiar, recompartar e impermeabilizar el cauce del río Malo, es decir reconstruirlo en la zona de las instalaciones. Las obras en el río incluyeron una compactación del terreno, la instalación de una geomembrana en el fondo y la construcción de gaviones para lograr la pérdida de energía.

El diseño del nuevo río consideró el máximo sismo estimable en 1.000 años.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## Efectos de plan de cierre El Indio – Tambo

Tanto los yacimientos del El Indio como Tambo presentan un elevado potencial de drenaje ácido, a lo que se agrega el transporte fluvial particulado de As en el caso de El Indio. Ello obedece a que El Indio se encuentra en una faja con intensa alteración hidrotermal ácido – sulfática de sus rocas y El Tambo es un yacimiento epitermal de oro asociado a alteración argílica avanzada. Ello se ha traducido en una importante contaminación de Cu, As, Zn y  $SO_4$ , que afecta las aguas del Río Toro y a través de este, las del Turbio y el Elqui. Ella está reseñada en las memorias de título de Samuel Guevara (2003) y Gonzalo Galleguillos (2004), además de varios trabajos realizados por el Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de La Serena en conjunto con instituciones internacionales.

Los proyectos efectuados por Barrick para tratar de mitigar la contaminación de las aguas son la construcción de la laguna de decantación y la posterior habilitación del tranque de relaves Pastos Largos como sedimentador. Los efectos de estas obras, en la variación de las concentraciones de Cu, As y Fe en los ríos del Toro y Turbio han sido monitoreados mensualmente desde septiembre de 2003 por CMEI e informados periódicamente a CONAMA en marco del acuerdo voluntario del plan de cierre de las faenas. El programa de monitoreo finalizaría en 2008, siempre cuando la calidad de las agua se estabilice y los parámetros químicos vuelvan a sus rangos históricos, según el Superintendente de Desarrollo Sustentable de Barrick en una reunión sostenida en Junio de 2008 con ex trabajadores de CMEI.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Las estaciones de monitoreo a reportar por CMEI a CONAMA son las siguientes (Tabla 3.5, Figuras 3.9, 3.10 y 3.11):

**Tabla 3.5: Estaciones de monitoreo plan de cierre CMEI.**

<b>Punto de Monitoreo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenada Norte (m)</b>	<b>Coordenada Este (m)</b>
IN-23	Canal arriba de botadero Viento	6.709.647	407.489
IN-28	Canal fuera el túnel San Pablo	6.705.697	405.670
RMATR	Río Malo después de confluencia con Drenaje de Tranque El Indio con Dren G y H	6.704.938	404.246
RTPL	Flujo de Tranque Pastos Largos	6.703.829	403.369
IN-2	Río malo después de laguna de Sedimentación	6.699.644	401.358
IN-13	Río del Toro antes Río La Laguna	6.683.815	394.648
IN-17	Río Turbio antes de Quebrada Calvario	6.684.732	385.271
IN-14A	Río Turbio aguas abajo, antes de Huanta	6.696.096	368.802
IN-14B	Río Turbio aguas abajo, antes de Huanta	6.696.588	368.327



Figura 3.10: Estaciones de monitoreo plan de cierre El Indio.

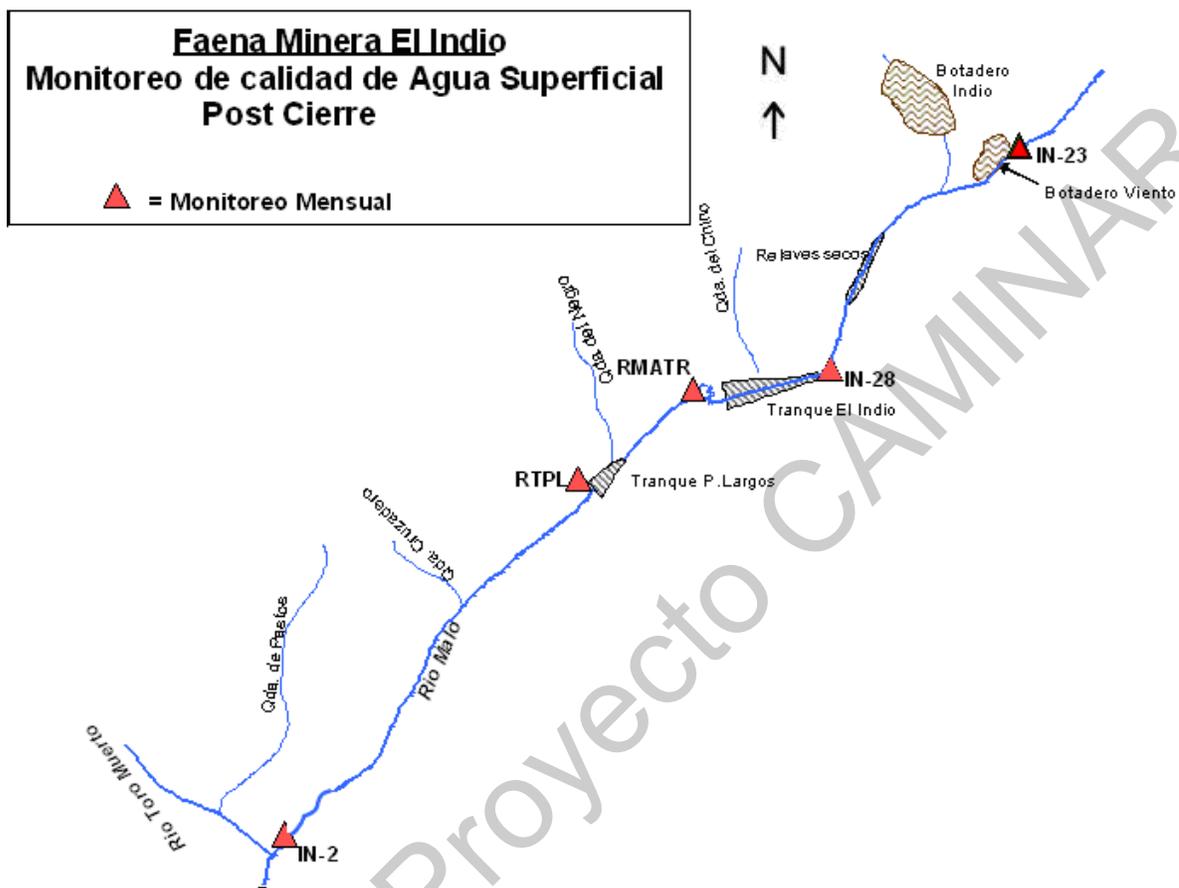
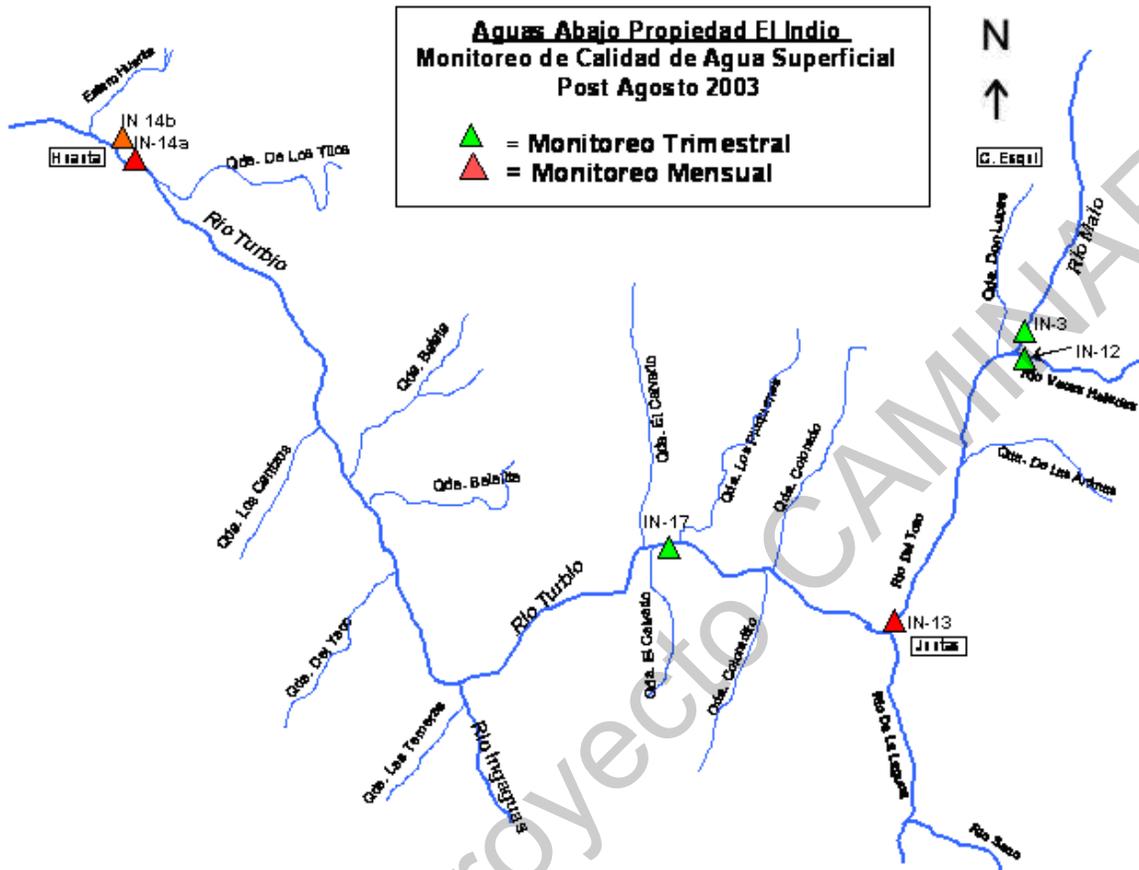


Figura 3.11: Estaciones de monitoreo plan de cierre El Indio.



Los promedios de concentración durante el período de medición de los parámetros As, Cu,  $\text{SO}_4$  y pH (Tabla 3.6), muestra que aguas abajo de Botadero Viento (IN-23) hay un drástico descenso del pH, lo cual es atribuible a la aceleración del proceso de drenaje ácido (interacción aire-agua-roca) por las excavaciones mineras. Lo anterior se refuerza al ver los datos del monitoreo del canal afuera del túnel San Pablo (IN-28), donde se encuentra el promedio más bajo de pH y los máximos valores de los parámetros As y Cu.

**Tabla 3.6: Promedio y desviación estándar de concentración de pH, SO<sub>4</sub>, Cu y As en monitoreos plan de cierre El Indio, período 2003 - 2007.**

Sector	pH UpH	SO <sub>4</sub> mg/L	Cu tot. mg/L	As tot. mg/L
IN-23	8,04 (0,35)	146,16 (28,93)	0,04 (0,06)	0,0037 (0,0029)
IN-28	2,99 (0,18)	1186,83 (218,91)	68,95 (21,86)	6,24 (4,08)
RMATR	3,00 (0,13)	1207 (152,63)	41,12 (12,63)	3,33 (1,26)
RTPL	3,06 (0,140)	1195,53 (147,48)	41,07 (13,11)	0,14 (0,10)
IN-2	3,153 (0,13)	1143,91 (80,79)	31,04 (7,69)	0,17 (0,42)
IN-13	4,24 (0,22)	969,38 (52,09)	14,05 (2,76)	0,29 (0,10)
IN-17	7,82 (0,20)	269,55 (65,20)	2,73 (0,72)	0,08 (0,01)
IN-14A	7,90 (0,14)	216,97 (35,31)	1,91 (0,41)	0,06 (0,05)
IN-14B	7,93 (0,11)	217,33 (33,54)	1,74 (0,43)	0,05 (0,01)

Al final de la subcuenca del Río Toro, antes de la unión con el Río La Laguna, se ubica el punto de monitoreo de CMEI IN-13 y en el mismo sector, a poca distancia, se ubica el punto de monitoreo de calidad de la DGA. La tabla 3.7 muestra datos tomados por la DGA entre enero de 1998 y septiembre de 2003, mientras la tabla 3.8 muestra la información tomada por Minera El Indio entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007, considerándose estos datos en vez de los de las mediciones de DGA en el mismo periodo por la continuidad de las mediciones y mayor número de datos.

**Tabla 3.7: Datos de monitoreo efectuado por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003.**

Estación	Análisis	pH UpH	SO <sub>4</sub> mg/L	Cu mg/L	As mg/L
Río Toro antes de junta Río La Laguna	Promedio	4,72	883,27	14,99	0,41
	Máximo	6,23	1.050	39	1
	Mínimo	3,48	825	7,40	0,29
	Tiempo de monitoreo	Mensual	Trimestral	Mensual	Mensual

**Tabla 3.8: Datos de monitoreo efectuado por CMEI entre Septiembre de 2003 Enero de 2007.**

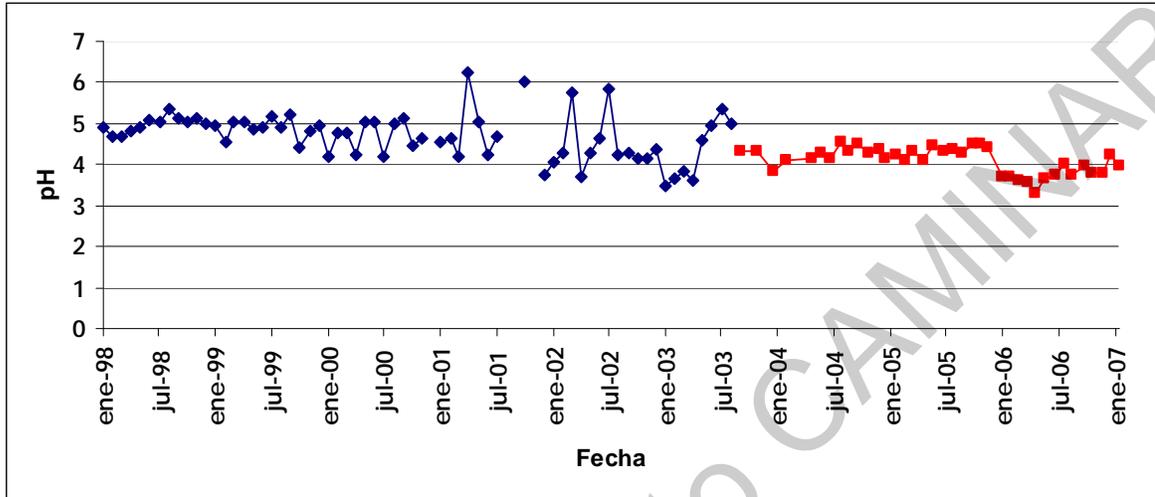
Estación	Análisis	pH UpH	SO <sub>4</sub> mg/L	Cu mg/L	As mg/L
Río Toro antes de junta Río La Laguna	Promedio	4,24	969,4	14,05	0,29
	Máximo	4,56	1.069	20	0,69
	Mínimo	3,58	854	10	0,17
	Tiempo de monitoreo	Mensual	Mensual	Mensual	Mensual

Las mediciones mensuales de los parámetros efectuados por la DGA (puntos azules) y por CMEI (puntos rojos) muestran tendencias similares al alza en el caso de SO<sub>4</sub> y Cu (Figuras 3.13 y 3.14). En el caso de las mediciones de pH (Figura 3.12), existe una tendencia a bajar, debido al drenaje ácido de rocas que se produce en las minas, provocando disolución de Cu y SO<sub>4</sub> en las aguas.

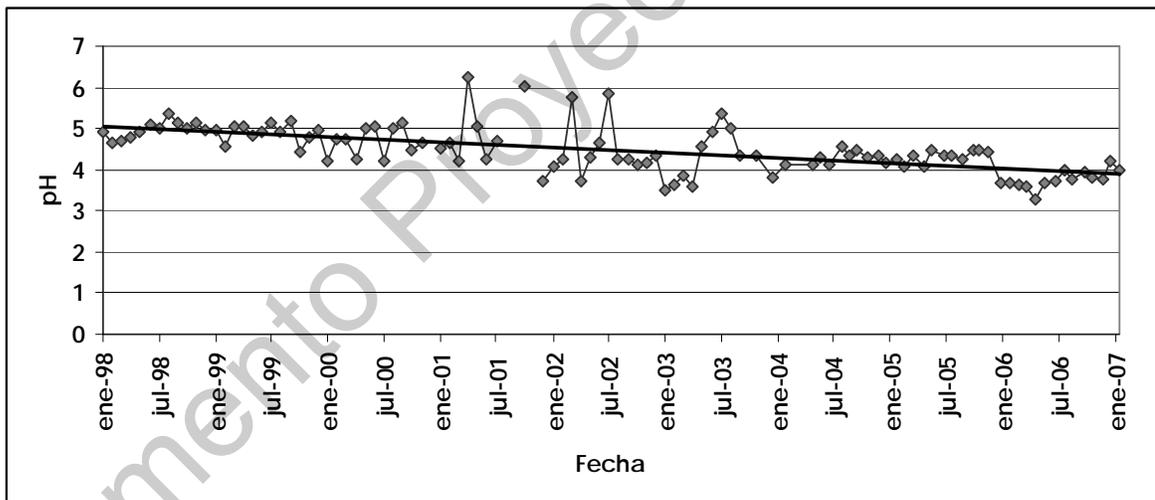
Un caso interesante es la disminución de As en las aguas, atribuyéndose esto a un resultado positivo de los sedimentados del plan de cierre de CMEI (Figura 3.15).

**Figura 3.12: Medición de pH efectuada por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003, por CMEI entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007(A). Tendencia lineal de la serie de datos, período 1998 - 2007 (B).**

**A**

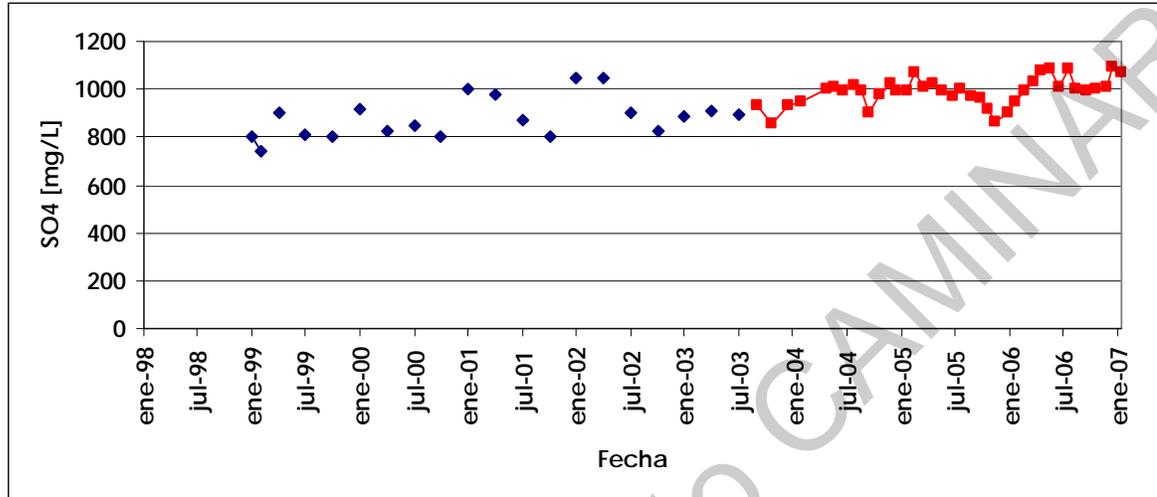


**B**

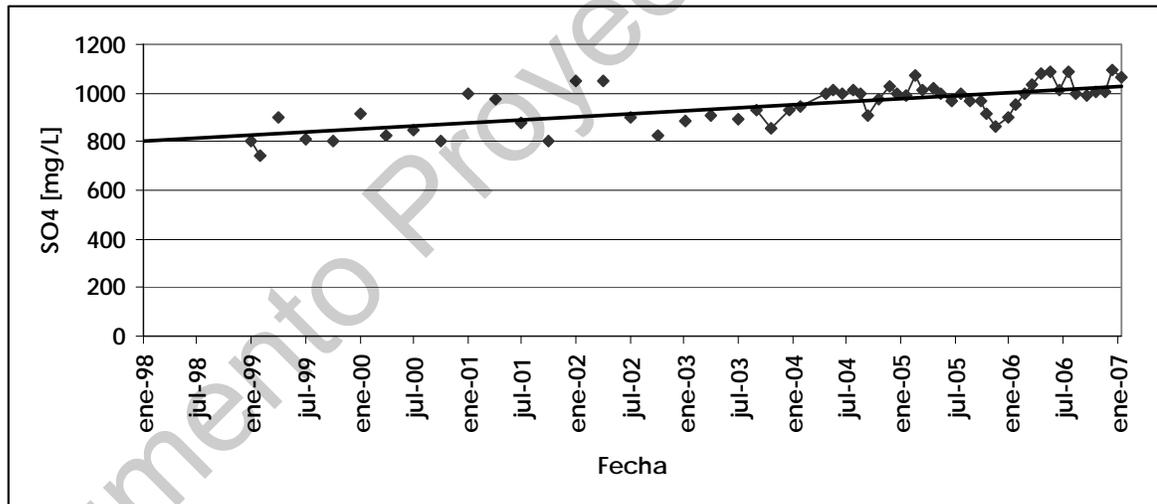


**Figura 3.13:** Medición de SO<sub>4</sub> efectuada por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003, por CMEI entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007 (A). Tendencia lineal de la serie de datos, período 1998 - 2007 (B).

**A**



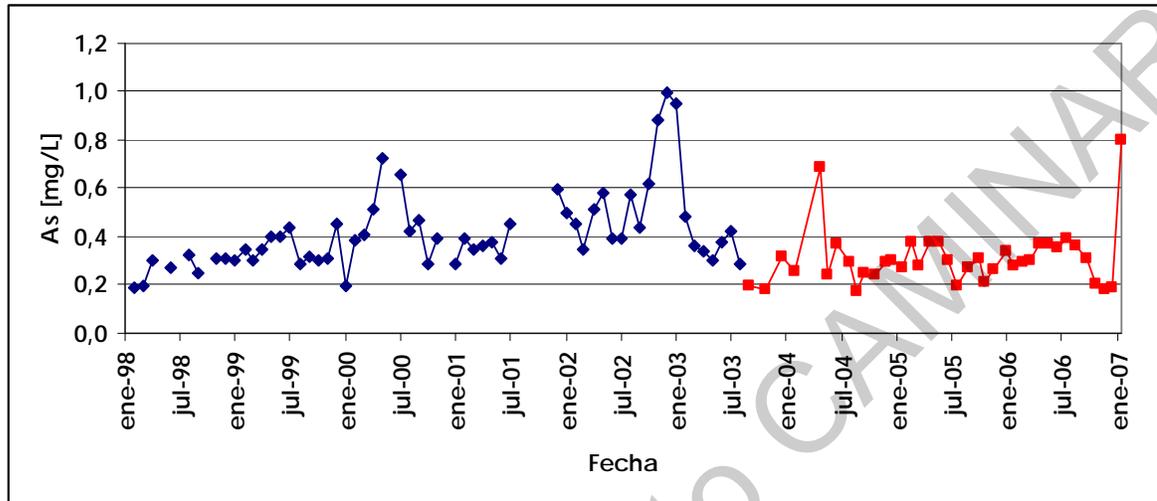
**B**



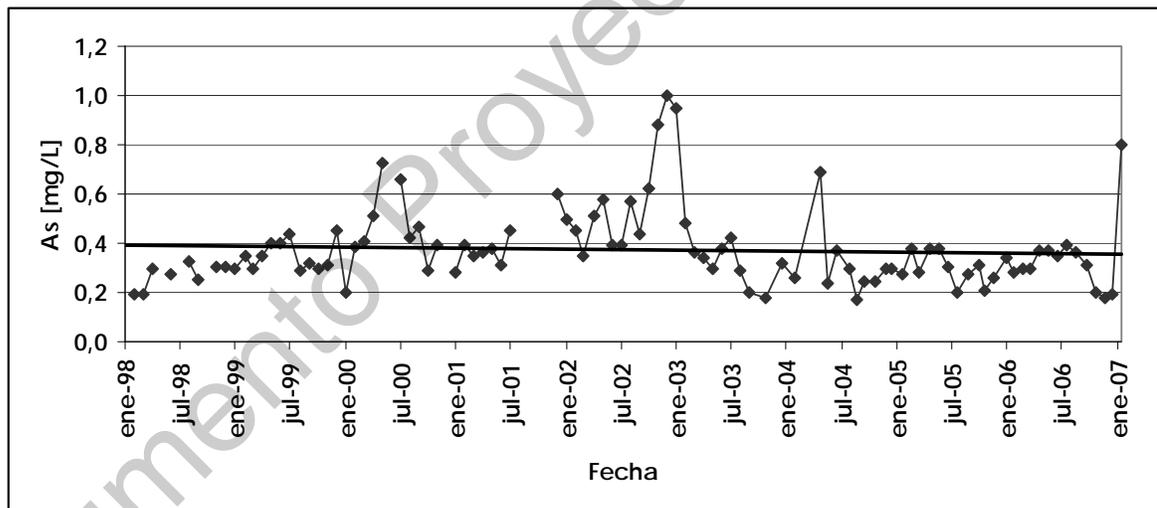


**Figura 3.15: Medición de As efectuada por DGA entre Enero de 1998 y Septiembre de 2003, por CMEI entre Septiembre de 2003 y Enero de 2007 (A). Tendencia lineal de la serie de datos, período 1998 - 2007 (B).**

**A**



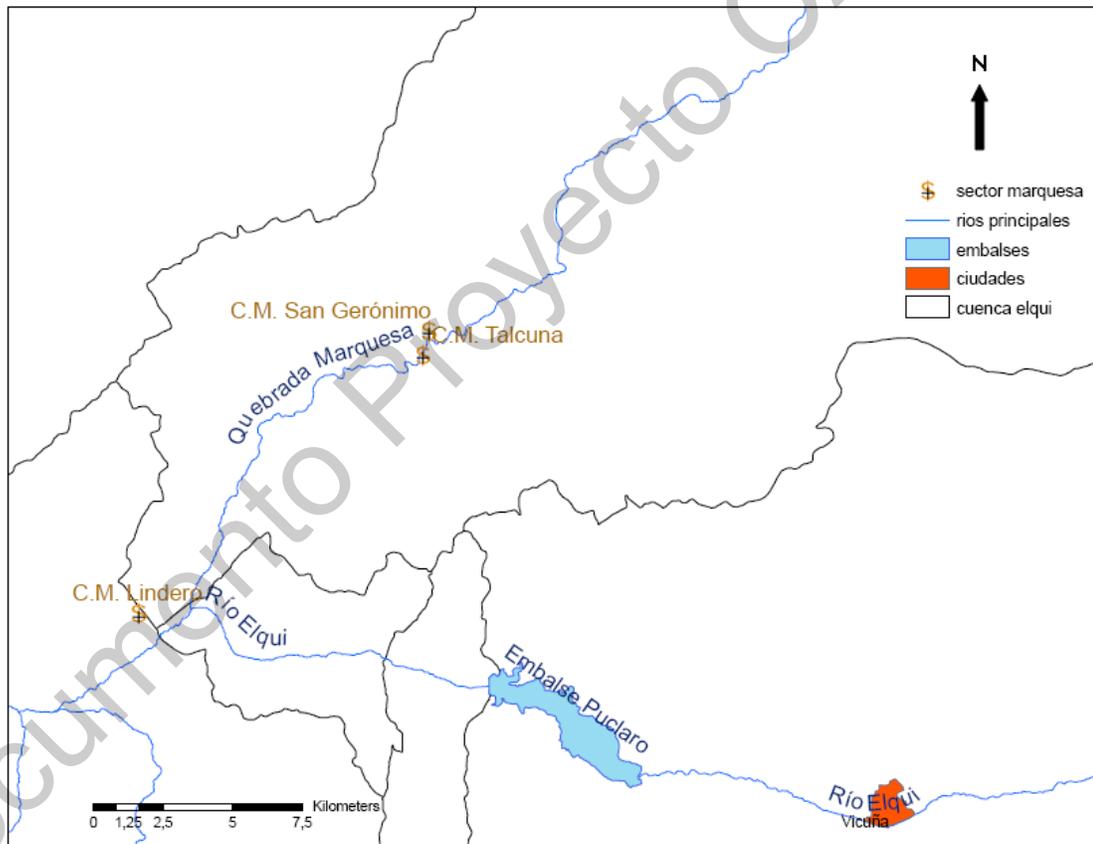
**B**



### 3.3.2 Distrito Minero Talcuna

El distrito minero de Talcuna pertenece a la Comuna de Vicuña y está ubicado en un tramo estrecho de la quebrada Marquesa (Figura 3.16) con yacimientos situados entre los 700 y 1000 m.s.n.m., a unos 14 km de la localidad de Marquesa y a 50 km al Este de La Serena, a una altura de 650 m.s.n.m. Se accede hasta Marquesa por un camino pavimentado de 33 km (Ruta 41), correspondiendo los últimos 14 km a camino de tierra en buen estado desde el poblado de Marquesa.

Figura 3.16: Distrito minero Talcuna.



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

La Quebrada de Marquesa drena una hoya hidrográfica de 735 Km<sup>2</sup>, cuyo régimen hidrológico es pluvio-nival, es decir, escurren caudales motivados por las lluvias y derretimientos de nieves. Tiene presencia temporal de agua superficial, es decir, sólo se registran escorrentías y crecidas que activan la quebrada y sus afluentes en los meses de invierno de aquellos años donde la lluvia es abundante, las cuales pueden alcanzar dimensiones de aluvión, normalmente asociadas a “años de El Niño”. También cuenta con un flujo permanente de agua subterránea, el que es utilizado por las empresas mineras que operan en el Distrito.

En Talcuna, la mineralización se presenta en un nivel toba de lapilli entre una lava andesítica inferior y areniscas – limonitas sobreyacentes, estando también mineralizada la porción superior de las lavas amigdaloidales. Los sulfuros hipógenos son: bornita, calcopirita, calcosina, esfalerita y galena, los que cementan la toba de lapilli y los fragmentos líticos están separados por la matriz de sulfuros. La ganga es calcita, clorita, hematita. No existe una alteración obvia de las rocas de caja, pero las rocas encajadoras están alteradas regionalmente a calcita, clorita, analcima, hematita, con epidota y prehnita en los niveles estratigráficos inferiores (Boric, 1985).

La actividad minera del distrito comenzó en 1836. Actualmente operan tres empresas que extraen y flotan minerales cupríferos, con significativos contenidos de plomo y plata, a una tasa del orden de 2.800 t/día que próximamente sobrepasará las 4.000 t/día.

Estas empresas son Compañía Minera San Gerónimo, Compañía Minera Talcuna (ex Compañía Minera Palo Negro y Cobrex), y Compañía Minera Linderos (ex Compañía Minera San Guillermo), cuyas características se indican a continuación.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.2.1 Compañía Minera San Gerónimo

Minera San Gerónimo, es la continuadora de Sociedad Minera Talcuna (SMT), una empresa pequeña que operó desde 1960 hasta 1981 en minería del cobre. SMT tuvo su mejor época entre los años 1979 y 1980 produciendo concentrados de plata cuando este metal estuvo a muy buen precio. En 1982, paralizó por bajos precios, para luego en 1988 iniciar operaciones nuevamente bajo el nombre de Compañía Minera San Gerónimo, como una suerte de continuadora de la antigua empresa familiar Sociedad Minera Talcuna.

Actualmente San Gerónimo da empleo a 300 personas y explota en el distrito las minas subterráneas 21 de mayo y 2001. Además tiene una planta de tratamiento llamada Talcuna, la que procesa 900 t diarias de minerales sulfurados de 1,1% de ley, generándose 855 t de relave al día, lo que implica que esta empresa debe contar con cinco tranques de relaves: Sector El Plomo, Socorro N° 6 (único en operación actualmente), Sector Los Infieles, Sector La Higuera y Sector La Tococa.

Hoy en día la planta Talcuna hace uso de agua a un ritmo estimado inferior a 10 l/s de agua fresca para reemplazar las pérdidas por evaporación. Compañía Minera San Gerónimo tiene derechos de aguas por un caudal de 25 litros por segundo.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

La planta está en proceso de ampliación para procesar 1650 t diarias de mineral de 0,9% adicional proveniente de la mina a cielo abierto Tugal que se ubicará en el distrito de Arqueros. Además, el proyecto considera la instalación de una tubería para traer agua desde una parcela a un costado del río Elqui hacia la Planta Talcuna, para llegar a utilizar 67,5 l/s necesarios para la flotación de los minerales, sin contar la recirculación, siendo el gasto real de agua teórico 27 l/s, en el caso de que se pueda recircular el 60% de las aguas en el proceso.

### 3.3.2.2 Compañía Minera Talcuna

Minera Talcuna ha cambiado su nombre y organización varias veces: Originalmente Minera Cobrex, luego Palo Negro y desde octubre de 2006 se llama Compañía Minera Talcuna, siendo siempre su dueño el Holding Empresas Hugo Molina.

Esta Compañía opera la planta Don Arturo, que beneficia mineral sulfurado de cobre de la mina subterránea Coca Cola, obteniendo como subproducto concentrados de cobre, que comercializa a través de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI).

La planta trata actualmente un total de 1.200 t/día de mineral de leyes entre 0,8% y 1%, de los cuales, generando diariamente 1.140 t de relaves.

En Minera Talcuna trabajan 250 personas.

El consumo teórico de agua en Minera Talcuna es de 18 l/s.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.2.3 Compañía Minera Linderos

Los activos de esta compañía en sus inicios (1985) pertenecían a Minera San Guillermo en 1985, luego pasó a la Compañía Minera Cobrex, y desde 2004 se llama Compañía Minera Linderos, funcionando independiente de Cobrex - Talcuna.

Compañía Minera Linderos posee las minas subterráneas Tambor, ubicada a 16 km de la planta en el distrito y El Rubio que se encuentra 25 km en dirección a Andacollo. Los minerales extraídos tienen leyes que varían entre 0,6% y 1,1%, y son beneficiados en la planta La Represa con capacidad de procesar 700 t/día de mineral.

En esta empresa trabajan 182 personas.

El gasto teórico de agua en Minera Talcuna es de 11 l/s.

### 3.3.2.4 Aspectos Ambientales del Distrito

Un problema recurrente en el distrito se debe al tránsito de vehículos de las tres compañías mineras por zonas pobladas, en donde la mayoría de las vías no están pavimentadas, lo cual genera ruidos molestos y levantamiento de polvo. Para mitigar este impacto, las empresas tienen un programa de riego de los caminos utilizados y un control de velocidad en zonas pobladas, así como la práctica de cubrir las tolvas de los camiones con mallas (por ejemplo Minera Linderos).

El principal problema de este distrito radica en la estrechez de la quebrada en la cual se emplazan sus instalaciones y los relativamente elevados volúmenes de relaves que se estiman del orden de 5 Mt (Galleguillos, 2004), que en conjunto con precipitaciones abundantes o aluviones (en años de Niño) pueden generar daños ambientales al derrumbarse la estructura de los tranques y el transporte del material estéril al flujo, el cual puede llegar al cauce del Río Elqui y canales de riego.

#### Ruptura de Tranques de Relaves

En la última década han ocurrido tres eventos de ruptura de tranques de relaves en el Distrito Talcuna. El primero en el mes de junio de 1997, se debió a un episodio de alta pluviometría. Depósitos de relaves de las compañías mineras Cobrex y San Gerónimo cedieron, vertiéndose así dos millones de toneladas de relaves (este valor sólo considera relaves secos). El material erosionado se mezcló con agua y materiales propios de la quebrada, los que llegaron hasta el Río Elqui.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

En esa oportunidad se adujo que el efecto dilución del Río Elqui redujo la magnitud del impacto. Por otra parte, la agricultura en la Quebrada Marquesa, aguas abajo del tranque de relaves vertido, era de importancia menor, lo que no significó perjuicios importantes (Galleguillos, 2004).

En el año 2002 dos incidentes no relacionados con eventos climáticos afectaron los tranques de relaves pertenecientes a la compañía minera Cobrex, colapsados en los meses de Septiembre y Noviembre, afectando la Quebrada Marquesa. El 22 de septiembre de 2002, en el sector cerca del apoyo del tranque de relaves Talcuna N° 1, en la ladera izquierda, y debido a la pérdida de estabilidad del prisma resistente, se produjo la ruptura del tranque y deslizamiento de relaves.

La inspección ocular practicada por el perito Ingeniero Víctor Aros Araya, en enero de 2003, indicaba lo siguiente:

- “ El ángulo de talud externo del prisma resistente era demasiado vertical.
- No se contaba con un sistema drenante en el interior de la estructura colapsada.
- El material constitutivo del prisma resistente era demasiado fino.
- La poza de sedimentación estaba demasiado cerca del talud exterior.
- No se apreció la colocación de algún material de granulometría gruesa en el talud, que pudiera haber servido para conseguir mayor estabilidad del tranque.”

Dada a la antigüedad de este tranque es probable que la falla no ocurrió por un mal diseño, sino más bien por deficiencias de construcción, mantención u operación, lo que queda afirmado en los puntos anteriores (Aros, 2003).

El 21 de noviembre de 2002, colapsó el depósito de relaves Talcuna N° 4 ubicado en una pequeña quebrada afluente a la de Marquesa. Para este evento, son válidas las mismas observaciones respecto de la estabilidad del prisma resistente. El tranque carecía de obras que desviarán los caudales que circulan por la quebrada, por lo que ellos escurrían directa y frontalmente sobre él.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Señala el Sr. Aros:

“Este tranque fue de construcción reciente, por lo que resulta evidente que su falla estructural se debió a probables errores de diseño y operación.”

El Ingeniero Víctor Aros, a petición de la Junta de Vigilancia del Río Elqui, se encargó de hacer un análisis hidrológico de esta hoya hidrográfica comprobando que circulan cauces normales y de crecidas de cierta consideración, como los ocurridos durante el mes de septiembre de 2002. Esto demuestra la factibilidad cierta de que estos caudales se encargaron de arrastrar y esparcir en la parte baja de la Quebrada Marquesa y en la hoya hidrográfica del Río Elqui, la carga contaminante producida por 12.000 m<sup>3</sup> (aproximadamente) de relaves generados por los derrumbes de los tranques Talcuna N° 1 y Talcuna N° 4 (Aros, 2003).

Como existe una gran concentración de tranques de relaves, cercana a las 5 Mt emplazada en los cauces de la hoya hidrográfica de la quebrada Marquesa, existe la amenaza cierta de que cualquier otro derrumbe en menor o mayor grado producirá un nuevo y potencialmente peligroso arrastre de los relaves a los suelos y aguas de las hoyas hidrográficas de la Quebrada Marquesa y del Río Elqui.

Aguas abajo de la confluencia Quebrada Marquesa con el Río Elqui se encuentran las bocatomas de los siguientes canales: Bellavista, Marquesa, Altovalsol, San Pedro Nolasco y El Romero. Estos canales sufrieron la contaminación de material erosionado proveniente de tranques de relaves que se mezcló con agua y materiales propios de la quebrada.

Sobre la base de los montos de los derrames informados por la empresa minera Cobrex, se estima que el área afectada alcanzó a unas 300 ha, sin considerar la superficie contaminada por el material conducido por la red de canales. Cabe señalar que la contaminación difusa resulta mucho mas difícil de mitigar que la contaminación del tipo puntual (Aros, 2003).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Entre los potenciales efectos físicos de la contaminación con materiales de relaves está una substancial modificación de la granulometría de los suelos, ya que los materiales finos del relave ocupan los espacios intergranulares. Ello impide la necesaria aireación de la zona radicular, transformando el suelo agrícola en un suelo altamente impermeable que impide la introducción del agua de riego para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Aros, 2003).

Desde un punto de vista químico, los relaves no son materia neutra, sino que muy por el contrario, por constitución y origen, reaccionan con los suelos. Este tipo de relaves proviene de flotación de minerales, en cuyo proceso se adicionan elementos alcalinos que suben su pH hasta 11. Sin embargo, posteriormente, la oxidación de los sulfuros presentes, en particular pirita ( $\text{FeS}_2$ ), genera ácido sulfúrico que neutraliza la alcalinidad inicial y termina comunicando acidez al material.

Desde el punto de vista biológico, la degradación física y química que producen los relaves de cobre, en los suelos agrícolas, genera un descenso del contenido de materia orgánica, una disminución de la biodiversidad interna y en general un empobrecimiento biológico (Aros, 2003).

La contaminación de las aguas por efectos de los relaves vertidos en la Quebrada Marquesa y en las del Elqui, se tradujo también en alteraciones físicas, químicas y biológicas que las cuales inhabilitaron por unas horas las aguas para el regadío y para el consumo humano en el momento de las descargas.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Los derrames descritos provocaron turbidez detectada por ESSCO (actualmente Aguas del Valle) en su planta de captación de aguas, en la localidad de Las Rojas, lo que obligó a realizar muestreos y análisis químicos en la entrada de la planta. Aunque no se encontraron concentraciones de metales que pudieran dañar la salud, dicha turbiedad podía dañar los filtros de la planta, lo que obligó a ESSCO a utilizar aguas de 20 de sus pozos. Esta situación, unida a la falta de procedimientos de comunicación de emergencias por parte de COBREX y de la misma empresa ESSCO, generó preocupación en la comunidad de La Serena y Coquimbo (Galleguillos, 2004).

Otras alteraciones físicas que producen los relaves en el agua son el aumento de color, olor y sabor. Entre las alteraciones químicas, puede citarse el aumento de la dureza del agua por la presencia de algunas sales de calcio y magnesio presentes en los relaves. También el pH del agua, en general, se modifica bruscamente por el carácter ácido de los relaves de cobre. Mención especial merecen, dentro de las sustancias inorgánicas incorporadas, algunos metales pesados, que pueden ser extremadamente tóxicos, incluso a muy bajas concentraciones. Este es el caso del plomo, presente en cantidades importantes en los relaves de Talcuna (Aros, 2003).

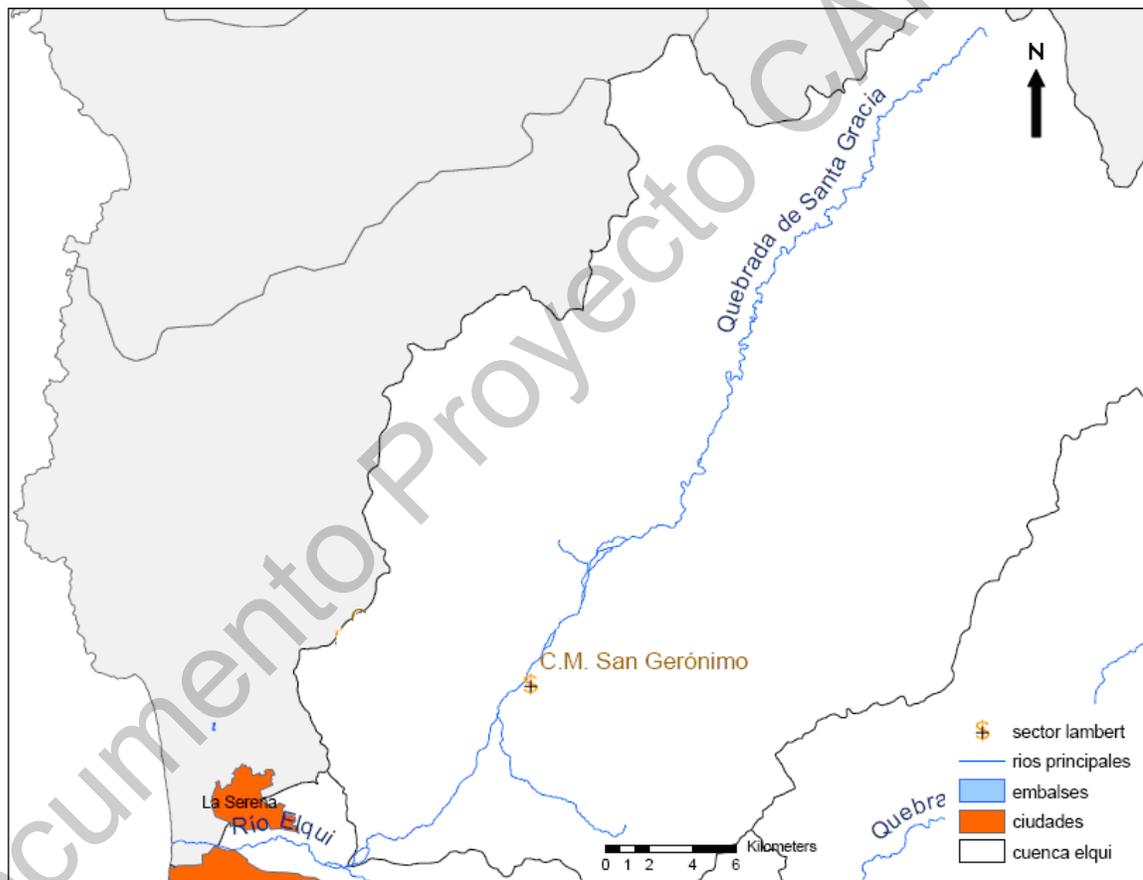
---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.3 Distrito Minero Lambert

El Distrito Lambert se ubica en el sector del mismo nombre, comuna de La Serena. El acceso al Proyecto desde la ciudad de La Serena se realiza por la zona de Las Compañías, siguiendo camino pavimentado hacia el Romero y luego hacia el norte, 20 km de camino sin pavimentar pero en buen estado (Figura 3.17).

Figura 3.17: Distrito minero Lambert.



Geológicamente el sector de Lambert está ocupado por rocas sedimentarias marinas, continentales y volcánicas, con un espesor de 3.800 a 4.800 metros y edades de cretácica inferior a superior. Las rocas estratigráficas han sido agrupadas en las Formaciones Arqueros, Viñita y Quebrada Marquesa (Aguirre y Egert, 1970).

Los yacimientos del sector corresponden a rocas metamórficas de contacto en la periferia de un cuerpo de alteración hidrotermal y de un intrusivo aplítico. La mineralización consiste en sulfuros de cobre: calcopirita, bornita, calcosina y covelina. También se encuentran óxidos de cobre que corresponden a malaquita, atacamita, crisocola y melaconita (Aguirre y Egert, 1970).

En el distrito se practica mayoritariamente la minería artesanal. Entre los yacimientos de cobre del área cabe destacar el sector Brillador que fue explotado a mediados del siglo XIX por Carlos Lambert, donde se ubican las minas 26 de Agosto, Cubana, Combinada y Perlita con leyes que varían entre 2% y 2,5%.

Industrialmente la actividad minera del distrito la realiza la Compañía Minera San Gerónimo, en donde trabajan 150 personas. San Gerónimo posee en su Planta Lambert una faena de lixiviación ácida para el beneficio de minerales oxidados de cobre, provenientes de las minas 26 de Agosto y Combinada, las cuales se encuentran a 12 kilómetros de la Faena Lambert siendo éstos los principales yacimientos los cuales entregan mensualmente un promedio de 12.300 toneladas, lo que representa un 94% del total del mineral procesado mensualmente en la faena, pero también es procesado mineral de particulares provenientes de las minas La Rosa, La Flaca, Corcovado, Grande, entre otras las que se encuentran en un radio de 20 km de la Faena de Lambert y que entregan mensualmente 800 toneladas aproximadamente (6%).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Además de lixiviación ácida para el beneficio de minerales oxidados de cobre, la faena Lambert cuenta con una planta de extracción por solventes y cristalización por saturación de sulfato de cobre.

Actualmente se están produciendo 6.000 ton/año de sulfato de cobre pentahidratado “feed grade. El 90% de la producción es exportado, teniendo como cliente principal a la empresa canadiense Pestell Minerals, que lo distribuye en Norteamérica.

El caudal de agua fresca que requiere la planta Lambert para sus operaciones es de 4 l/s.

### **3.3.4 Distrito Minero Andacollo**

Este distrito se encuentra en la comuna de Andacollo, a una altura media de 1.100 m.s.n.m., distante 54 km de La Serena por camino pavimentado, por Ruta 43 (camino a Ovalle). En el km 26 parte la desviación a Andacollo, que tiene 28 km hasta la ciudad, de los cuales los últimos 17 km cuentan con cuestas y numerosas curvas cerradas.

Se ha practicado la minería del oro desde tiempos prehispánicos, teniendo sus lavaderos un gran auge en los tiempos de la Colonia, así como con ocasión de la crisis de los años 30, en el siglo pasado. La minería del cobre se practicó activamente a nivel de pequeña minería y minería artesanal entre 1950 y 1970. Posteriormente decreció la actividad de la minería, dejando numerosos depósitos de relaves y rípios de lixiviación de variada magnitud, que actualmente se encuentran distribuidos en toda la comuna de Andacollo, incluso en sectores residenciales.

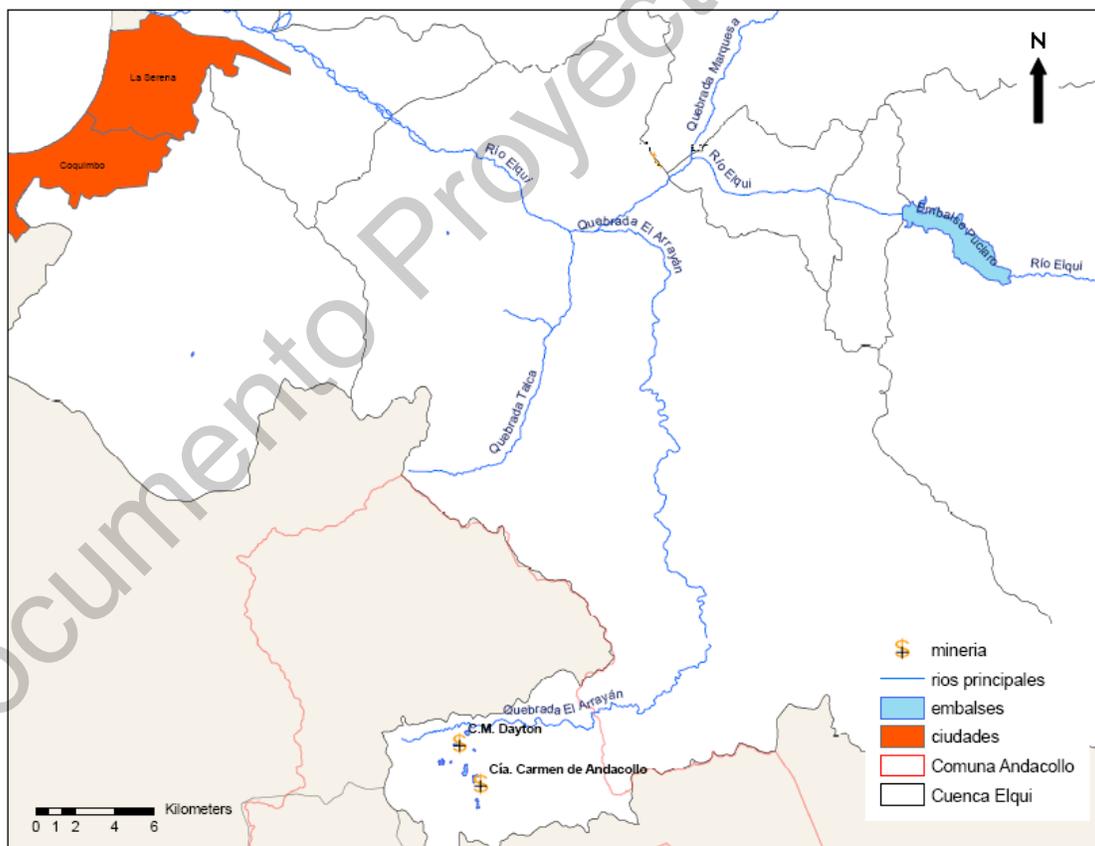
---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

En 1996, el ritmo de la minería de Andacollo cambió bruscamente, al inaugurarse dos operaciones mineras a cielo abierto: Carmen de Andacollo que extrae cobre y Dayton que extrae oro.

Cabe señalar que estas empresas, en estricto rigor, no pertenecen a la Cuenca de Elqui ni tampoco son usuarias de las aguas de ésta. Pero existe una conexión con la cuenca del Río Elqui por la quebrada Los Negritos que confluye con la quebrada El Arrayán, esta última afluente del Río Elqui (Figura 3.18). Por otra parte, existen conexiones indirectas a través de la Cuenca de La Cantera (Pan de Azúcar), ya que ésta alimenta al distrito minero y a su vez recibe aportes de la Cuenca del Río Elqui a través de los canales Bellavista y La Herradura.

**Figura 3.18: Distrito minero Andacollo y conexión con Cuenca del Río Elqui.**



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.4.1 Compañía Minera Dayton

La historia de Dayton (Andacollo-oro) tiene más de 17 años. Comienza a mediados de los ochenta cuando Chevron Minera Corporation of Chile adquiere en la zona minera de Andacollo alrededor de un centenar de pertenencias mineras de propiedad de varios industriales de la localidad.

Las operaciones mineras extractivas comienzan el año 1995 y se prolongan hasta el mes de septiembre del año 2000, cuando se paraliza la extracción minera debido a la sostenida baja del precio del oro. En ese momento el oro registraba un promedio de US\$ 260 la onza. Desde ese año, sólo operó el proceso de lixiviación y la planta de recuperación.

La operación minera se reinició en el primer trimestre del año 2006, planificando en principio la recuperación de un total de 350.000 Oz (9,9 t) en 12.000.000 t de mineral de oro en los próximos tres años, con una producción promedio de 100.000 Oz (2,8 t) anuales y un costo operacional de 322 US\$/Oz. Con posterioridad, la empresa ha continuado solamente con una operación residual de lixiviación de rípios, a menos que desarrolle nuevos recursos auríferos en el área.

La producción histórica de oro Dayton Andacollo a la fecha es de 588.000 onzas de oro, incluyendo la lixiviación residual del material depositado en pila (27.000.000 t).

Compañía Minera Dayton tiene 184 empleados y posee derechos de agua subterránea de la Cuenca de la Cantera por 200 l/s.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.4.2 Compañía Minera Carmen de Andacollo

La Compañía Minera Carmen de Andacollo inició sus actividades en 1996. Su operación, está basada en el tratamiento de compuestos oxidados de cobre y sulfuros enriquecidos del mismo metal, que completan su bio – oxidación en pilas de lixiviación.

El beneficio metalúrgico contempla tres etapas de chancado con una capacidad estimada de 10.000 t diarias. Posteriormente el mineral chancado es sometido a un proceso de aglomeración y el producto es depositado formando una gran pila piramidal. La etapa de lixiviación contemplará dos ciclos: el ciclo primario es de 140 días, y el secundario de 140 a 220 días. La pila es del tipo permanente y no dinámico, es decir, el material permanecerá en las pilas después de lixiviado. Cuando la solución rica en cobre (PLS) alcanza el fondo de la pila, es interceptado por una carpeta impermeable, la cual dirige la solución hasta un estanque de acumulación y de ahí hacia la planta de extracción por solventes.

En la etapa de extracción por solventes la solución rica se concentra y purifica mediante una solución orgánica que contiene reactivos extractores de cobre. La solución acuosa restante (refino), pobre en cobre, es devuelta a las instalaciones de lixiviación para su recarga de cobre.

El orgánico limpio, pasa a las etapas de re-extracción para entrar en contacto con la solución electrolito, transfiriéndose el cobre a éste mediante un proceso de extracción inversa. El electrolito es conducido a las celdas de electroobtención donde se producen las láminas de cobre, o cátodos, con una pureza de 99,99% de cobre, que constituyen el producto final del proceso.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Una vez que en los cátodos de acero inoxidable se deposita una cantidad de cobre suficiente en sus caras, aproximadamente en 6 días, son sacados de las celdas y lavados, separándose el cobre depositado en ellos. El agua de lavado es recirculada a la solución de lixiviación. Las placas son llevadas a las celdas para reiniciar el ciclo de depositación. Los cátodos de cobre de alta pureza son empaquetados para su transporte y exportación a través de los puertos de Valparaíso o San Antonio.

La producción anual de Carmen de Andacollo es actualmente de 20.000 toneladas al año de cobre en forma de cátodos de alta calidad, en las faenas de Carmen de Andacollo trabajan 409 personas.

#### **3.3.4.2.1 Proyecto Hipógeno**

El proyecto está destinado a la explotación y procesamiento de la mineralización hipógeno o primaria del yacimiento constituida por minerales sulfurados de cobre de baja ley (0,4%). Esto requiere de nuevas instalaciones e implica la modificación del Plan Minero del Proyecto Andacollo Cobre que consistía en la explotación y procesamiento mineral supérgeno o de enriquecimiento secundario.

El Proyecto Hipógeno le permitirá a Carmen dar continuidad a sus actividades más allá del año 2009 (fecha de término del proyecto actual). Es decir, con la explotación y procesamiento del mineral primario, se estima que se logrará extender la vida útil del proyecto Andacollo Cobre hasta el año 2030.

Mientras el proyecto que concluye explotó algunas decenas de millones de toneladas, el nuevo considera reservas superiores a los 300 millones de toneladas. El desarrollo minero considera profundizar el actual rajo en aproximadamente 200 metros, aumentando el rajo final siempre dentro de la propiedad superficial y minera de Carmen de Andacollo, en aproximadamente un 5% del actual rajo final, es decir, desde 202 a 212 hectáreas aproximadamente.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Aunque la baja ley del hipógeno es un factor desfavorable, el proyecto no necesita remover estériles, lo que compensa el parte el problema. Naturalmente los altos precios actuales del cobre son también un factor determinante en la decisión.

CDA en la actualidad posee en operación una Planta de procesamiento de minerales basada en procesos de Lixiviación - Extracción por Solventes - Electro obtención (LIX-SX-EO). Con el desarrollo del proyecto Hipógeno se modificará la actual tecnología de la planta de procesamiento de minerales, cambiándose a una tecnología de concentración que básicamente considera molienda y flotación.

Cabe hacer notar que la utilización de esta tecnología, da origen a la necesidad de contar con un depósito de relaves de 500 há que en la vida útil del proyecto, debería almacenar unos 300 Mt de estéril.

Esta nueva Planta de Procesamiento de Minerales estará ubicada dentro de la actual propiedad superficial que la Compañía posee en la comuna de Andacollo.

El proyecto considera la construcción y operación de una planta de procesamiento de mineral, con capacidad de tratamiento de 20.000.000 toneladas por año aproximadamente, con una vida útil estimada de 21 años, la cual dentro de sus áreas o unidades contempla:

- Chancado
- Molienda
- Flotación y Manejo de Reactivos
- Espesamiento y Filtrado de Concentrados
- Espesamiento y Conducción de Relaves

Se considera que en el área de filtrado de concentrado se realizarían las actividades de acopio de concentrado, para su posterior carguío y despacho al Puerto de Coquimbo (Carmen de Andacollo, 2006).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

CDA pasará de ser una mina mediana a una de gran minería, ya que hoy de estar procesando 10.000 t/día con un consumo de agua de 70 l/s y rendimiento de de 0,6 m<sup>3</sup>/t, pasaría a procesar 50.000 t/día con un consumo de 400 l/s y rendimiento de 0,7 m<sup>3</sup>/t.

El proyecto hipógeno para su operación requiere hasta 400 l/s de agua fresca que serán obtenidos de los derechos de agua que posee la compañía. Actualmente, Carmen de Andacollo posee pozos y derechos de agua, línea de conducción de agua y servidumbre desde una parcela de su propiedad ubicada en el sector Pan de Azúcar y ha adquirido derechos de aprovechamiento de aguas ofrecidos en el mercado, con el fin de optimizar sus costos de inversión y/o operación. Sin perjuicio de lo anterior, el proyecto considera utilizar agua recirculada del proceso.

El Proyecto Hipógeno preocupa a los agricultores de la Cuenca de Pan de Azúcar por los serios daños pueda sufrir la actividad agrícola del sector. Esto, considerando la escasa superficie de captación de agua y el poco espesor de relleno permeable de la cuenca, que se sitúa en una zona de escasas precipitaciones (~90 mm/año).

De ahí que los agricultores no duden de que tal extracción de 400 l/s los vaya a afectar gravemente. Preocupa además a los habitantes de Andacollo, ya que sus necesidades de agua potable son abastecidas de estos mismos pozos con agua para la bebida y el riego, y que temen quedarse sin el vital recurso.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.4.3 Aspectos Ambientales del Distrito

Las quebradas Los Negritos y Arrayán, poseen régimen eventual de agua, por lo tanto los potenciales aportes de Cu, As y Fe proveniente de numerosos tranques de relaves, se encuentran supeditados a la presencia de periodos de alta escorrentía (generalmente asociados a años de El Niño), periodos en los cuales también se producen alzas de caudales. En todo caso, el factor dilución mitiga los efectos producidos por estas quebradas en el Río Elqui, restando importancia a su posible efecto. Sin embargo, la presencia de actividad agrícola en el sector requiere tomar en cuenta esta situación.

En dos ocasiones en 1997, a causa de intensas lluvias, se produjeron filtraciones de ácido sulfúrico desde las pilas de lixiviación hacia la quebrada de Chepiquilla en la que se ubica un sector poblado de Andacollo y se contaminaron los pozos de donde la gente obtiene el agua para beber y regar sus huertos. Un análisis del Departamento de Sanidad del Hospital de Andacollo concluyó en ese entonces que el agua no estaba apta para el consumo humano.

De acuerdo a información de CONAMA IV Región, el problema de Andacollo radica en sus pasivos ambientales de la pequeña y mediana minería, principalmente en los tranques de relave, y en general en las malas prácticas ambientales usadas históricamente en Andacollo. Ellos incluyen el uso de lixiviación in situ utilizando ácidos, en los mismos yacimientos.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Por otra parte, existen altas concentraciones de mercurio en suelos y aire de Andacollo, incluido algunos sectores del pueblo. Ello, originado en su utilización como amalgamador por la minería artesanal del oro. Décadas de ineficiente tratamiento de los relaves de flotación de los residuos y montículos de roca de existencias se ha traducido en importantes efectos en la contaminación del paisaje de los alrededores. Para evaluar el potencial de contaminación ambiental en esta región, en 2003 investigadores chilenos y españoles (colaboración U. La Serena – U. Castilla la Mancha – U. Complutense de Madrid) midieron la concentración de Cu, As, Cd, Zn y Hg en muestras de flujo de las aguas y sedimentos de quebradas, los suelos, los relaves de flotación, y los desechos en minas del distrito, así como la concentración de Hg en la atmósfera. Estos estudios midieron con concentraciones en rangos comprendidos entre 970–2.200 µg/g Cu y 0,6–1,4 µg/g Hg en sedimentos. In situ las medidas de gas Hg en instalaciones de trapiche mostraron valores de 10.000 a 100.000 ng Hg/m<sup>3</sup> (debido a restricciones instrumentales, el último valor es considerado como un mínimo). Cada trapiche consume aproximadamente 0,8 kilogramos de Hg por día. Considerando que sólo el 50-70 % de este Hg es recuperado, aproximadamente 2.630 - 4.380 kilogramos de Hg no recuperado metálico es perdido a ambientes circundantes cada año (Higueras et al, 2004).

Sin embargo, el problema ambiental más visible desde el establecimiento de las mineras Carmen y Dayton ha sido la emisión de material particulado, a causa de las tronaduras, procesos de chancado de las plantas y circulación de camiones, afectando al centro urbano de la ciudad y a los sectores poblados aledaños a las instalaciones mineras. CONAMA en diciembre de 2007 informó que se sobrepasó por octava vez en el año la norma de PM10 de 150 microgramos (www.gorecoquimbo.cl).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

La primera estación de monitoreo de la calidad del aire en Andacollo funciona desde 2001. Hoy suman cuatro y todas fueron instaladas por las empresas mineras y manejadas por empresas especialistas que ellas contratan. Tanto la Compañía Minera Dayton como Minera Carmen de Andacollo reconocen que han sobrepasado la norma de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sin embargo, debido a que las estaciones no cuentan con el tiempo suficiente establecido en la normativa como estaciones de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP) la zona no ha sido declarada ni saturada ni latente. Desde el 1 de Junio de 2008 entró en funcionamiento una estación de monitoreo independiente a cargo del Servicio de Salud Coquimbo, ubicada en el Hospital de Andacollo.

### **3.3.5 Distrito Tambillos**

#### **3.3.5.1 Minera Tambillos**

Minera Tambillos se encuentra en el distrito minero del mismo nombre que se ubica al sur de la ciudad de Coquimbo y al oeste de Andacollo. Sociedad Contractual Minera (SCM) Tambillos cuenta con la Planta Tambillos, produce concentrado de cobre, oro y plata. Su construcción fue iniciada en 1968, por la Sociedad Mixta “Enami Sucesión Mac. Auliffe” e inició sus operaciones alrededor de 1970. Esta planta procesa minerales provenientes de las minas subterráneas Florida Sur y Florida Norte, ubicadas en la Cordillera de la Costa a una altura media de 480 m.s.n.m. y a 30 km al Sur de la Ciudad de La Serena.

En SCM Tambillos trabajan 203 personas.

Se accede a las minas por un camino rural terroso, que inicia en el Kilómetro 50 de la Ruta 43 Ovalle-La Serena. En el primer Kilómetro se encuentra la Planta Tambillos y a 6 km de la Planta se encuentran las Minas Florida y Norte. Este camino pasa por fuera del pueblo Tambillos según convenio con lugareños.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.3.5.2 Aspectos Ambientales del Distrito

Los vecinos han manifestado su preocupación por la alta velocidad que alcanzan los camiones cargados con mineral, y el depósito de material en lugares que la comunidad considera deben ser resguardados de toda intervención humana. En Julio de 2007 se detectó el escurrimiento de material de la pared oeste del tranque de relave N° 4 que esta empresa mantiene a su cargo, con la posibilidad cierta de afectar con elementos contaminantes el agua de napas.

### 3.4 Resumen de Consumo de Agua en Minería en la Cuenca del Río Elqui

Según los consumos de agua por cada compañía minera son:

Tabla 3.9: Consumo de agua de cada compañía minera de la Cuenca.

Compañía	Consumo de Agua l/s	Fuente de Información
San Gerónimo (Talcuna)	25	Estimado
San Gerónimo (Lambert)	4	DIA
Talcuna	18	Estimado
Linderos	11	Conv. Personal
Carmen de Andacollo	70	DIA
Dayton	200	Conv. Personal
Tambillos	No Disponible	
<b>SubTotal</b>	<b>328</b>	

### 3.5 Uso del Agua en la Minería del Cobre

En la minería del cobre el agua se utiliza fundamentalmente en el proceso tradicional de concentración por flotación, como es el caso de los proyectos mineros que se encuentran en la Quebrada de Marquesa y del futuro proyecto hipógeno de Carmen de Andacollo. También se usa en el proceso bio - hidrometalúrgico de lixiviación pilas, como es el caso del actual proyecto Andacollo Cobre.

A continuación se analiza más en detalle el uso del agua en cada una de las actividades del proceso minero.

#### 3.5.1 Consumo en la Mina

El uso principal de agua en las minas de cielo abierto es en el riego de caminos con objeto de reducir el polvo en suspensión. En la minería subterránea, el consumo del agua es reducido y se limita al agua utilizada para la perforación. El problema más bien consiste en extraer el agua natural que se apoza en el fondo de los piques, la que puede provenir de lluvias o de napas subterráneas. Las cifras disponibles para minas son muy variables ya que hay muchos factores que influyen en el abatimiento del polvo: superficies expuestas, morfología del terreno, precipitaciones anuales, vegetación natural, etc. El agua utilizada en riego de caminos puede variar entre cero y el 15% del consumo total de agua de una faena minera (Lagos, 1997). De acuerdo a información recopilada en este estudio, en la Cuenca de Elqui este tipo de gasto es de  $55 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $0,6 \text{ l/s}$ ) por cada compañía minera en promedio.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.5.1.1 Consumo de Agua en Perforación Minería Subterránea

El uso de agua en la perforación subterránea varía entre 3 y 22 l/min (0,05 – 0,37 l/s) , dependiendo si la perforadora es de tipo manual o Jumbo (Tabla 3.9).

Tabla 3.10: Características de consumo de agua en perforación manual y jumbo.

	Perforación Manual	Perforación Jumbo
Largo de broca (m)	1,6	3
Avance (m/min)	0,5	1
Gasto de agua (l/min)	3 - 5	20 -22
Gasto por metro barrenado (l/m)	6 - 10	20 - 22

Según conversaciones con mineros artesanales el uso de agua que ellos hacen es insignificante, ya que ellos transportan tambores de 200 litros que utilizan para todas sus necesidades, incluidas las de perforación. Esta práctica la realizan diariamente o cada 2 o 3 días, dependiendo del tamaño de la mina y número de operarios.

### 3.5.2 Concentración por Flotación

Estas plantas realizan el chancado y molienda del mineral, seguido por la flotación, clasificación y espesamiento. La alimentación de estas plantas la constituye en el mineral proveniente de la mina, el que consiste en sulfuros de cobre y contiene usualmente entre 0.6 y 1.3 por ciento de cobre. Con frecuencia, el mineral es acondicionado previo a la molienda. Ello significa que se le agrega agua y algunos reactivos que son importantes en la flotación.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

En la flotación existe un exceso de agua en relación al mineral y se hace generalmente a un pH alcalino (10 a 11). Por tanto es necesario añadir algún reactivo, usualmente cal, para elevar el pH desde 7 que contiene el agua natural, hasta 10 ó 11. El producto de estas plantas es un concentrado (parte valiosa del mineral que flota durante el proceso de flotación) que contiene entre 25 y 45 por ciento de cobre dependiendo de las especies de mineral involucrado (calcopirita, covelina, calcosina, etc.). Por otro lado el desecho de estas plantas es el relave, el que consiste en el mineral que no flota y que es enviado a los tranques respectivos. El 66% de la pulpa de relaves consiste en agua, la cual debe ser recirculada al proceso.

En estas plantas concentradoras de tamaño mediano hay cifras que sitúan el consumo de 3,2 m<sup>3</sup>/t-mineral recirculando un 60% del agua utilizada desde el tranque de relaves. Las principales pérdidas de agua en tranques de relaves son a causa de evaporación, infiltraciones producidas hacia las napas y la humedad retenida en arenas y lamas, las cuales se estiman en 6%, 2% y 20% del agua utilizada en la concentración respectivamente. En espesadores y acopio de mineral y/o concentrado la evaporación se estima en un 2 % del total del agua que entra al proceso.

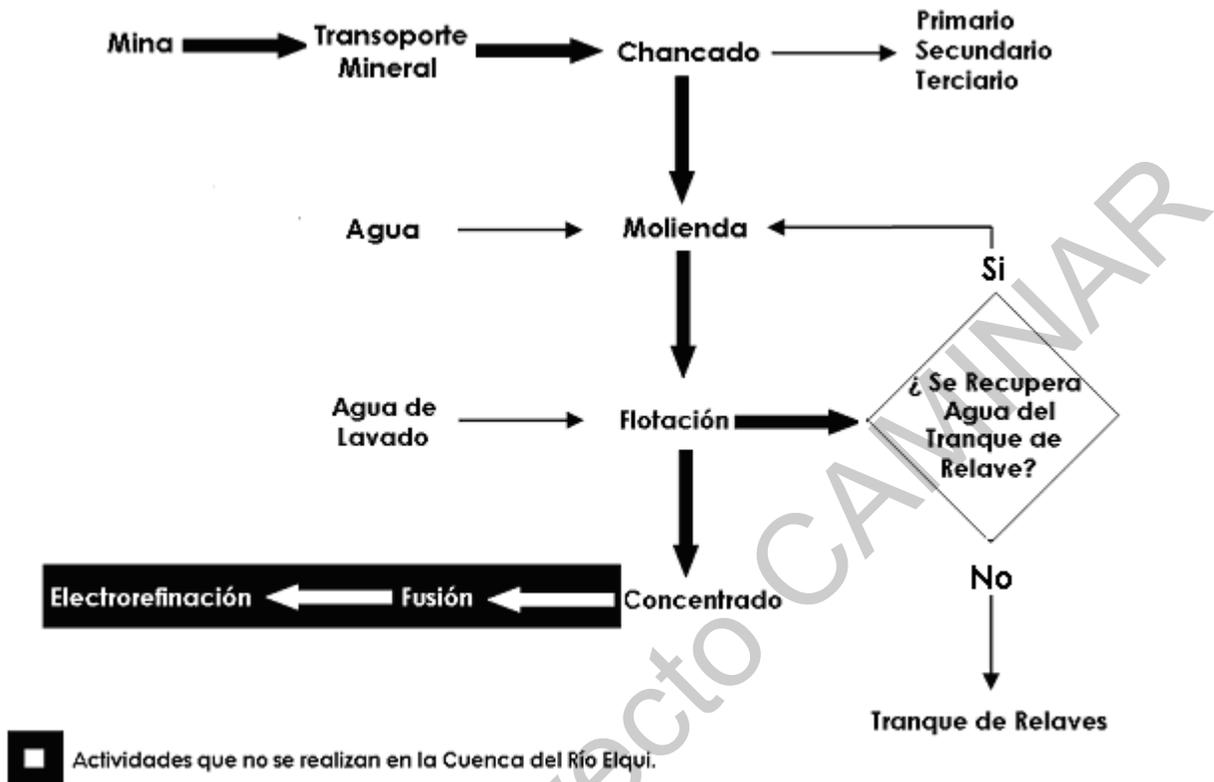
El mineral es transportado desde la mina hacia la planta en camiones, así como el concentrado desde la planta hacia el punto de venta. Lo anterior puede implicar un gasto de recurso hídrico en riego de caminos, el que depende de las distancias a recorrer y variables citadas anteriormente. La humedad del concentrado o de los minerales usualmente es de 8%, agua que acompaña al producto.

No retornar el agua al proceso de flotación tiene el costo, no sólo del agua misma, sino que del acondicionamiento del pH, como se mencionó anteriormente. (Figura 3.19).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Figura 3.19: Operaciones unitarias concentración por flotación.



### 3.5.3 Procesos de lixiviación - extracción por solventes – electro obtención

Este proceso consiste básicamente en que el chancado, aglomerado del mineral extraído de la mina, deposito en pilas de lixiviación y aplicación de una la solución lixivante que percola y entra en contacto con las diversas partículas que contienen mineral. Durante la aglomeración el mineral se contacta con una solución que contiene ácido sulfúrico con objeto de comenzar el proceso de disolución del cobre.

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Con posterioridad a la aglomeración el mineral, que contiene aproximadamente un 10% de humedad, se acopia en pilas de unos pocos metros de altura (dos a diez metros), dependiendo de las características del mineral y del lugar, y se riega la superficie superior con una solución ácida. Dicha solución percola al interior de la pila y junto al oxígeno produce la oxidación de los óxidos y sulfuros secundarios de cobre. Este proceso se puede acelerar con la inclusión de otros agentes oxidantes tales como ión férrico, y/o bacterias. Las pilas han sido construidas sobre una superficie impermeabilizada con objeto de recuperar la totalidad de las soluciones y también de evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

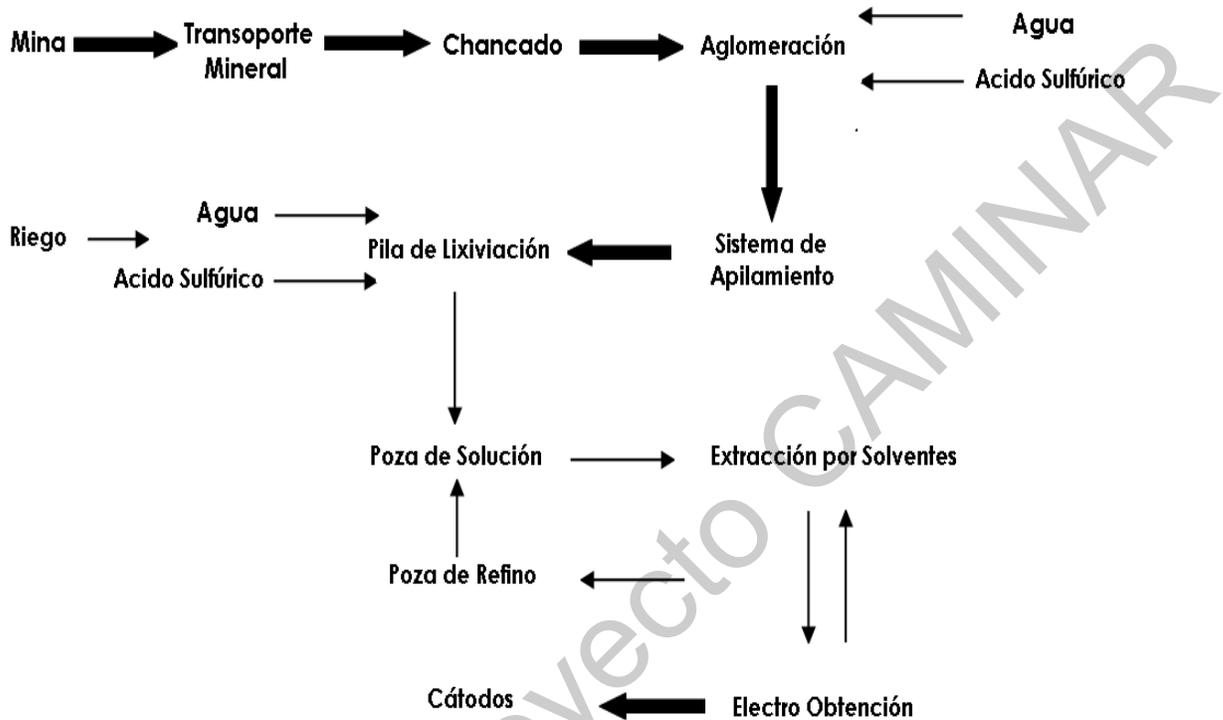
La solución recuperada en la parte inferior de las pilas contiene una pequeña concentración (3 a 5 g/l) de cobre, y previo a recuperar este mediante electroobtención, es preciso elevar su concentración en la solución. Ello se hace mediante el proceso de extracción por solventes (SX), el que consiste en la extracción del cobre de la fase acuosa a una fase orgánica y posteriormente la re-extracción del cobre desde la fase orgánica cargada con cobre a una nueva fase acuosa. La concentración del cobre en esta nueva fase acuosa, al cabo del proceso de extracción por solventes, es de aproximadamente 50 g/l.

Esta solución denominada fase cargada, se alimenta a la planta de electroobtención. Una vez que la solución proveniente de la lixiviación es descargada de cobre mediante solventes (SX), se reacondiciona su pH, el que ha variado, y se reutiliza en el riego de las pilas. En definitiva y al cabo de algunos ciclos, la solución preñada contiene bastantes impurezas que han sido incorporadas mediante la disolución de las pilas. La forma de descartar estas soluciones es agregarlas a una pila de la que ya se extrajo todo el cobre presupuestado y dejarla ahí. Como la base de estas pilas es impermeable, el destino de la solución de descarte es la evaporación. Las impurezas quedan atrapadas en la pila de descarte la que se denomina ripio (Figura 3.20).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Figura 3.20: Operaciones unitarias de proceso de Lixiviación - Extracción por solventes – Electroobtención.**



En la planta de extracción por solventes se descartan las soluciones orgánicas después de numerosos ciclos, debido a la degradación de los reactivos orgánicos y debido a la contaminación de la solución. Durante la vida útil de estas soluciones, éstas son lavadas, y el agua requerida depende de la ley del mineral y de la capacidad de recuperación. Por ejemplo, al procesar una tonelada de ley 1% y se recupera un 80% del mineral, para llegar a producir soluciones de 5 g de Cu/l, se requiere 1,6 m<sup>3</sup> de agua.

Los factores más variables en cuanto a consumo son la evaporación en las pilas, el descarte de soluciones (el que depende entre otras factores de la cinética de dilución del mineral) y el lavado de orgánico (Lagos, 1997). Este tipo de beneficio metalúrgico también tiene un alto porcentaje de recirculación de aguas, que alcanza al 70%, por lo cual el uso real en las condiciones anteriormente descritas llegaría a ser de  $0,5 \text{ m}^3/\text{t}$ .

El tipo de operación de beneficio metalúrgico depende de la especie mineralógica que se extrae en la mina. Los minerales oxidados no se pueden concentrar eficientemente por flotación espumante y por lo tanto se tratan vía lixiviación (LX) seguida por la electroobtención.

El gasto de agua en la cuenca es similar en ambos procesos (entre  $0,5$  y  $1 \text{ m}^3/\text{t}$ ), aunque no es la mejor en comparación a los mismos procesos utilizados en otros lugares del país, esto debido más que nada a que las leyes de cobre en la cuenca bordean el 1%, por lo cual se requiere mayor cantidad de agua para procesarlo.

Las empresas mineras de la zona tienen claro el problema de la escasez de agua y los costos de extracción, ya que principalmente la minería de la Cuenca del Río Elqui trabaja con agua subterránea, por lo cual tienen implementados sistemas de recuperación y recirculación de agua dentro de sus procesos, siendo las principales pérdidas las relativas a la evaporación.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.6 Proyectos Futuros

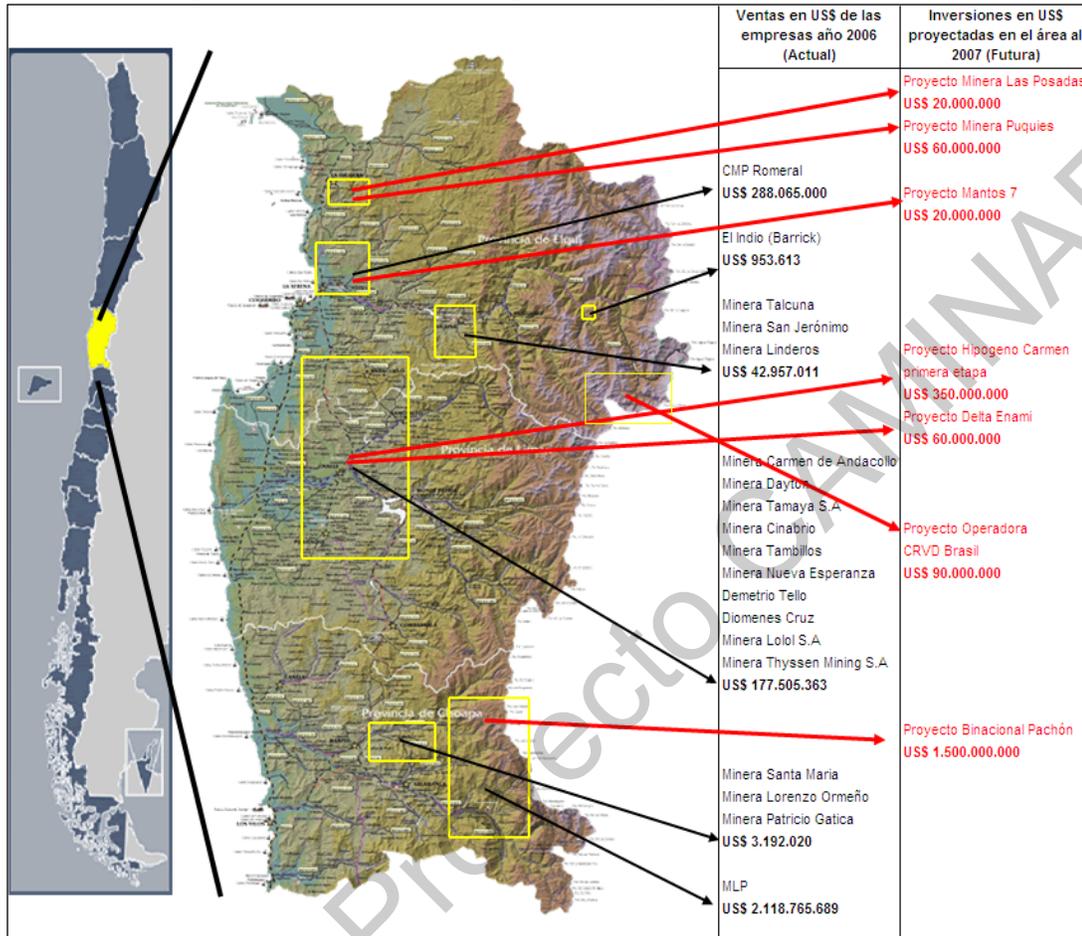
De acuerdo al proyecto elaborado por ENAMI, “Estudios Geológicos para la Búsqueda de Nuevas Reservas Mineras para la Pequeña y Mediana Minería, IV Región”, se pudieron detectar y actualizar en la Región los recursos mineros de cobre, oro y plata, equivalente a una reserva geológica de 4.601.399 Toneladas de mineral y recursos potenciales por reconocer de 36.547.000 Toneladas en menas de Cu, Au y Ag, 600.000 Ton de tungsteno y 15.000.000 Ton de sílice. Esta actualización de la información geológica minera de un gran número de yacimientos y distritos, permite asegurar que en su mayoría existen recursos de mineral de distintos volúmenes y calidades, factibles de ser explotados como pequeña minería. Los resultados del estudio permiten concluir que la Región posee un importante potencial minero para la pequeña y mediana minería, concentrado especialmente en depósitos de cobre y oro y en menor proporción, pero igualmente destacable, yacimientos polimetálicos de plomo y zinc. Es del caso señalar que de acuerdo a SERNAGEOMIN, este estudio contempla solo el 25% del territorio regional.

Además del mencionado proyecto Tugal de Minera San Gerónimo, las figuras muestran que en la Cuenca del Río Elqui los principales proyectos son el Proyecto Operadora de CRVD Brasil, en la comuna de Paihuano con una inversión de US\$ 90.000.000; y el Proyecto Hipógeno de la minera Carmen de Andacollo que en su primera etapa estima una inversión de US\$ 350.000.000. Además la Compañía Antofagasta Minerals realiza exploraciones aguas abajo de las instalaciones de El Indio. Así como la empresa Teck en las inmediaciones de Cochiguaz y empresarios chinos también esta en proceso un proyecto minero llamado Las Ñipas (Figuras 3.21 y 3.22).

---

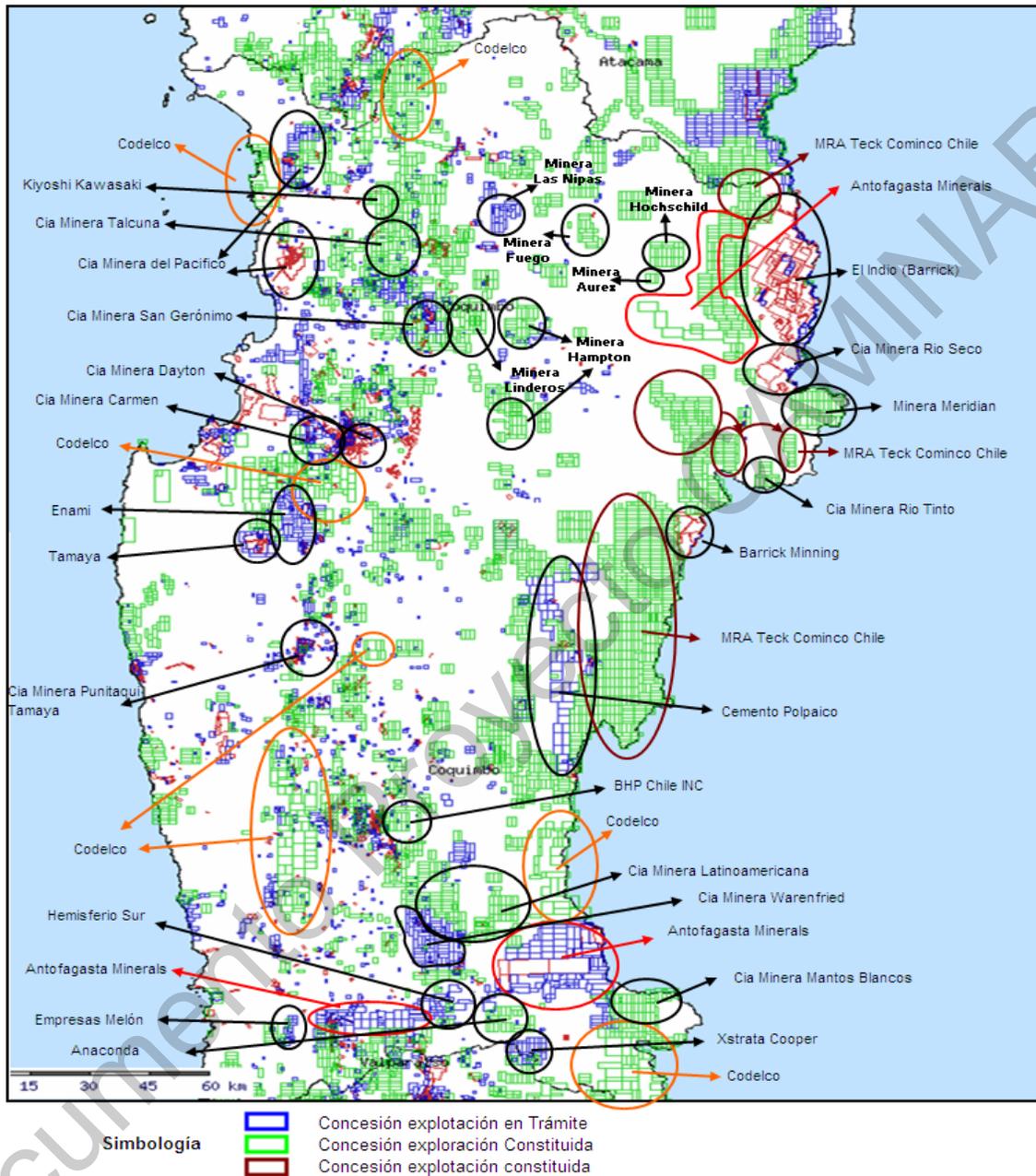
“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Figura 3.21: Proyectos a realizar en la Región de Coquimbo.



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Figura 3.22: Proyectos actuales y a realizar en la Región de Coquimbo.**



**Fuente: SERNAGEOMIN.**

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 3.7 Precio del Cobre

El incremento en el precio del cobre, el que se cuadruplicó en los últimos 10 años (hasta mediados de 2008) (Tabla 3.10), ha impulsado una reactivación de la minería regional a nivel artesanal e industrial. Como ya se expuso, un aumento del precio del cobre provoca una mayor inversión en el mercado de la extracción del cobre, por ende una mayor producción, beneficiando al mercado laboral de las localidades cercanas a los nuevos proyectos, o de los que reiniciaron operaciones.

Tabla 3.11: Precio promedio (centavos de dólar) de los últimos 10 años.

Año	Valor (centavo USD/ libra Cu)
1998	74.974
1999	71.380
2000	82.294
2001	71.566
2002	70.647
2003	80.734
2004	130.106
2005	167.087
2006	305.295
2007	323.246

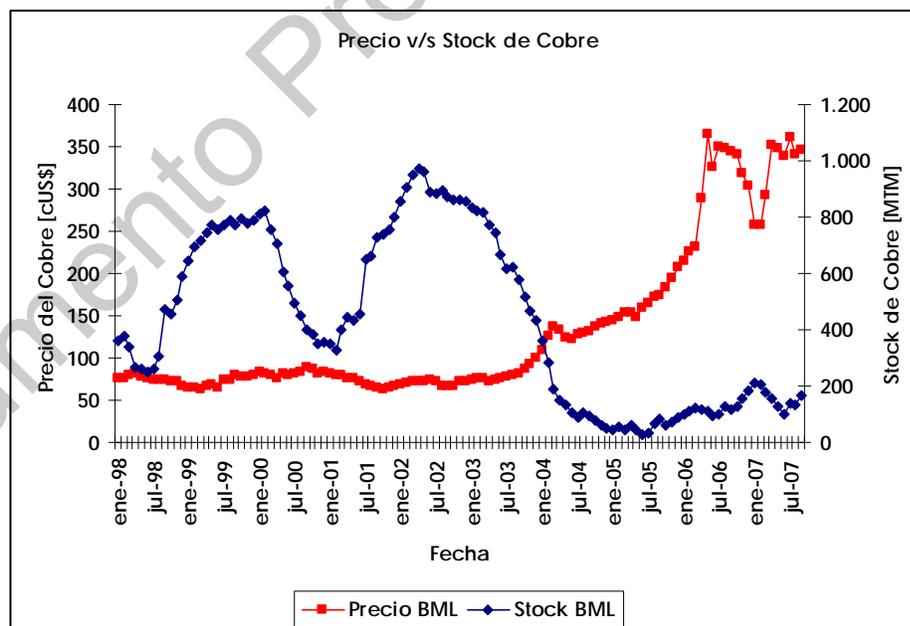
Fuente: Cochilco.

### 3.7.1 Tendencia de los precios

Los altos precios registrados hasta mediados del 2008 se explicaron por el bajo nivel de inventarios en las bodegas de las bolsas de metales. Un panorama económico mundial positivo, numerosos eventos de ámbito laboral que se dieron en la industria y dificultades de muchos productores para alcanzar sus metas de producción. Esto generó una importante escasez que impulsó el precio al alza.

Los stocks mundiales en 2002 llegaron a cerca de un 1.000.000 de toneladas de cobre. Los precios en ese período estaban en torno a 70 centavos de dólar la libra. Los stocks empezaron a bajar sistemáticamente y los precios al comienzo empezaron a crecer moderadamente (Figura 3.23). En efecto cuando los stocks llegaron a niveles mínimos y se mantuvieron por debajo de 200.000 toneladas, los precios aumentaron fuertemente.

**Figura 3.23: Stocks y precios del cobre: Bolsa de Metales de Londres, Enero 2002 a Julio 2007 (precios en centavos de dólar y stock en miles de toneladas de cobre fino).**



Fuente: Cochilco.

Otro factor de mercado que explica este fenómeno es que aunque haya disminuido el consumo en áreas geográficas tan importantes como Europa, Norteamérica y Japón, el consumo en China ha seguido creciendo a tasas elevadas, compensando a la baja del consumo antes mencionado, lo que sumado a los otros factores ha permitido mantener los stocks a niveles históricamente bajos.

Esta situación de escasez por el lado de la oferta continuará según las proyecciones al menos hasta 2010 (Tabla 3.11).

**Tabla 3.12: Proyección de balance mundial de cobre refinado (miles de toneladas métricas de cobre fino).**

<b>Año</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
<b>Producción</b>	16.634	17.323	18.145	18.870	19.220	19.756
<b>Demanda</b>	16.780	17.433	18.102	18.783	19.386	20.016
<b>Diferencia</b>	<b>-146</b>	<b>-110</b>	<b>43</b>	<b>87</b>	<b>-166</b>	<b>-260</b>

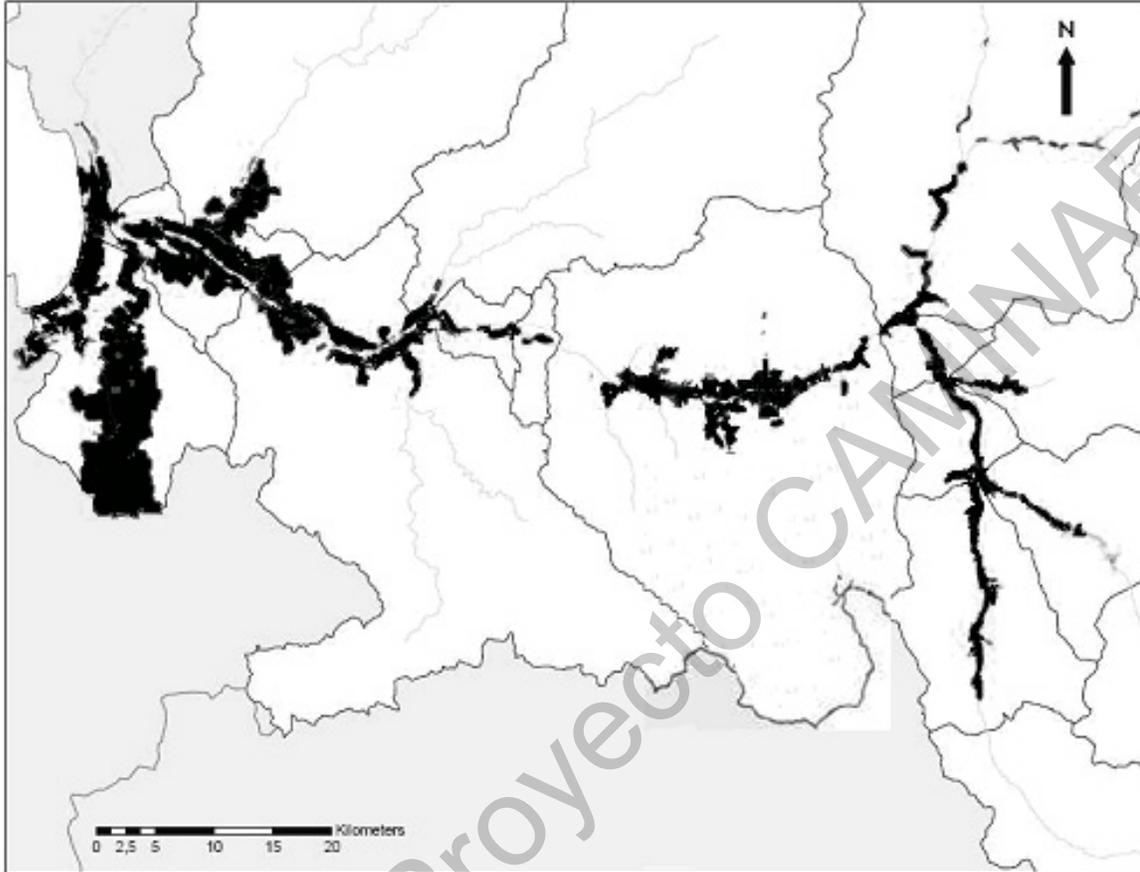
Fuente: Cochilco.

#### 4 Agricultura de la Cuenca del Río Elqui

La Cuenca del Río Elqui cuenta con una superficie cultivable de 23.000 hectáreas, de las cuales según el Censo Agropecuario de 2007, alrededor de 20.479 ha están destinadas a cultivos anuales y permanentes. La superficie restante corresponde a praderas sembradas.

Los terrenos agrícolas se presentan principalmente en el valle del Río Claro en Paihuano y Pisco Elqui, a lo largo del valle del Río Elqui aguas abajo de la localidad de Vicuña hasta la desembocadura en La Serena, en planicies aluviales, terrazas fluviales y en áreas aledañas a ellas, mayoritariamente entre la localidad del Almendral y ciudad de La Serena.

De las 23.000 ha, 5.750 ha (25 %) se encuentran sobre el embalse Puclaro, y 17.250 ha (75%) bajo él. De las 5.750 ha sobre Puclaro, 3.738 ha (65%) se encuentran bajo el embalse La Laguna, y las restantes 2.012 ha (35%) corresponden al río Claro y sus afluentes. (Figura 4.1).

**Figura 4.1: Áreas de riego en la Cuenca del Elqui.**

#### 4.1 Cultivos

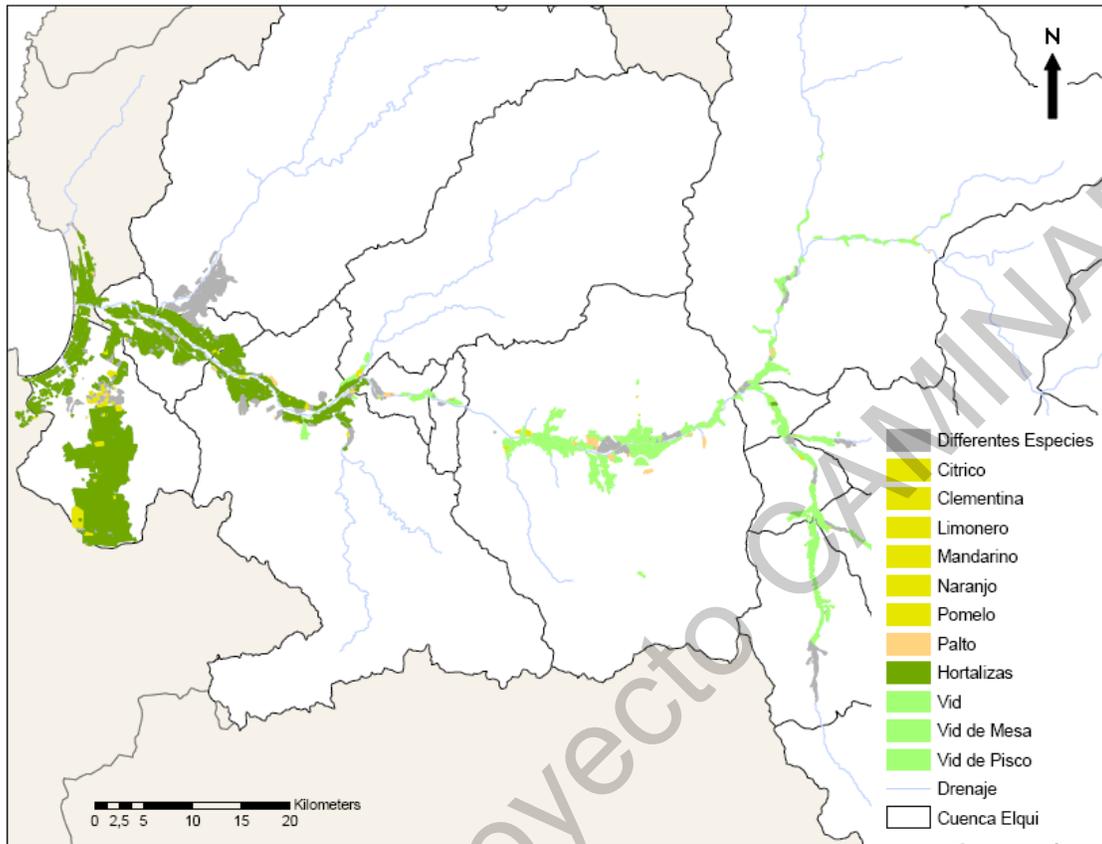
La Región de Coquimbo presenta una ventaja comparativa importante en relación con la época de cosecha, tiene producciones en épocas en las cuales no es posible obtenerla en otras regiones de más al sur, lo que le permite entregar productos al mercado entre Mayo y Noviembre. Después de Noviembre, pierde competitividad por precio y calidad.

Los principales cultivos existentes en la Cuenca del Río Elqui corresponden a frutales, tubérculos y hortalizas (Tabla 4.1). Los productos más cosechados son uvas, limones, paltas, papas y alcachofas (Figura 4.2)

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Figura 4.2: Principales cultivos.**



**Tabla 4.1: Tipos de cultivo en la Cuenca de Elqui.**

Grupos de cultivos	Superficie (ha)
Frutales	8.042
Hortalizas	5.968
Leguminosas y tubérculos	2.684
Viñas y parronales viníferos	1.945
Cereales	57
Viveros	8
Semilleros	26
Cultivos industriales	318
Plantaciones forestales	1.432
<b>Total</b>	<b>20.479</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

Hacia la parte alta del Valle, aguas arriba del embalse Puclaro, por motivos climáticos, principalmente se ha plantado frutales y especialmente vides (Tabla 4.2), que suelen tener riego tecnificado en sus predios, la mayoría específicamente riego por goteo.

**Tabla 4.2: Superficie cultivada de vides.**

	Tintas viníferas		Blancas viníferas		Pisqueras	Riego
	Corrientes	Finas	Corrientes	Finas	Superficie (ha)	Superficie Total (ha)
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)		
La Serena	0	36	0	14	0	50
Andacollo	0,1	0	0	0	7	7,1
Paihuano	0	15	3	7	476,5	501,5
Vicuña	26,3	165,5	0	68,8	1096,8	1357,4
<b>Elqui</b>	<b>26,4</b>	<b>216,5</b>	<b>3</b>	<b>89,8</b>	<b>1580,3</b>	<b>1916</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

Aguas abajo del embalse, disminuye la cantidad de frutales, y desaparecen las viñas, debido a la presencia del clima costero. Una causa de eliminación de papayos y chirimoyos en esta zona es la falta de mercado para estos productos, y en el caso de la chirimoya, la dificultad de comercialización debido a la corta duración de la poscosecha. Por otro lado, lo promisorio que resulta el mercado internacional de la palta, cítricos y productos del olivo, ha generado una conversión hacia estos productos, dado que ha aumentado la superficie de cultivos en formación en la cuenca (Tablas 4.3 y 4.4).

Tabla 4.3: Superficie plantada con frutales.

	Superficie en Producción (ha)	Superficie en Formación (ha)	Superficie Total (ha)	Densidad Promedio plantas/ha	Producción Promedio ton/ha
Uva de mesa	2.824,9	265,4	3.090,3	1.344	19,5
Limonero	657,5	88,4	745,9	592	22,2
Palto	594,9	360,2	955,1	381	7,6
Chirimoyo	485,4	34,7	520,1	357	16,3
Tuna	442,3	20	462,3	6.291	10
Clementina	300,5	220,2	520,7	822	23,5
Naranja	192,9	106,8	299,7	649	14,1
Peral europeo	166,3	14,7	181	1.115	14,4
Olivo	153,4	238,2	391,6	433	4,5
Papayo	115,7	24,5	140,2	2.258	17,1
Otros frutales	601,1	133,8	734,9		
<b>Elqui</b>	<b>6.534,9</b>	<b>1.506,9</b>	<b>8.041,8</b>		

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007, Catastro Frutícola IV Región, 2005.

Tabla 4.4: Producción y densidad promedio de principales frutales según variedades.

Variedad	Superficie ha	Densidad Promedio plantas/ha	Producción Promedio ton/ha	% Exportación
<b>Uva de Mesa</b>				
Thompson Seedless	3.026,5	1.289	19,1	86,2
Flame Seedless	2.410,9	1.550	18,5	87,9
Redglobe	2.133,9	1.535	24,3	90,6
Crinson Seedless	900,3	1.199	17,6	85,4
Superior Seedless	380,9	1.325	18	90,4
<b>Palto</b>				
Hass	3.407,1	439	6,7	68,6
Edranol	228,6	478	8,5	76
Negra de La Cruz	109,8	363	9,2	
Fuerte	89,3	336	9,4	
Bacon	53	381	10,6	
<b>Clementinas</b>				
Clemenules	1.339	652	23,7	51,2
Fortune	40,1	635		
Marisol	31,1	852		
Arrufatina	25	737		
W. Murcott	12,4	719		
Fernandina	11,6	750		
<b>Limonero</b>				
Eureka	668,3	482	26,3	46,7
Fino 49	305,9	559	27,3	35,6
Genova	222,9	418	17,9	45,1
Lisboa	24,9	483		
Messina	14,8	536		
Fino 95	3,2	556		

Fuente: Catastro Frutícola IV Región, 2005.

Las celdas en blanco de esta tabla significan que la producción está en formación o que no se exporta ese producto.

Los cultivos, no frutales, que se plantan o siembran, son fundamentalmente papas cereales (trigo y algo de avena), algo de alfalfa, que se usa para forraje) (Tabla 4.5y 4.6), y hortalizas tales como apio, lechuga, zanahoria, porotos verdes, alcachofas, zapallos (Tabla 4.7).

**Tabla 4.5: Superficie plantada con cereales, leguminosas y tubérculos.**

	<b>En riego Sup.(ha)</b>	<b>En seco Sup. (ha)</b>	<b>Superficie total (ha)</b>
Papa	2.613	0	2.613
Poroto	58,5	0	58,5
Maíz	33,8	0	33,8
Trigo blanco	1	12	13
Arveja	8,5	0	8,5
Cebada forrajera	1,9	3,5	5,4
Poroto export.	3,5	0	3,5
Quínoa	1,3	0	1,3
Centeno	0	1	1
Otros cereales	2	0	2
<b>Elqui</b>	<b>2.723,5</b>	<b>16,5</b>	<b>2.740</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

**Tabla 4.6: Producción y densidad promedio de cereales, chacras, papas y otros.**

<b>Producto</b>	<b>Producción total (qqm)</b>	<b>Rendimiento promedio (qqm/ha)</b>
Papa	479.594	183,5
Poroto	1.352	23,1
Maíz	2.466	72,9
Trigo blanco	294	22,6
Arveja	185	21,7
Cebada forrajera	88	16,3
Poroto exportación	70	20
Quínoa	15	11,5
Centeno	40	40

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

**Tabla 4.7: Superficie plantada con hortalizas.**

	<b>Al aire Libre Superficie (ha)</b>	<b>En Invernadero Superficie (ha)</b>	<b>Superficie total (ha)</b>
Alcachofa	1.651,3	0	1.651,3
Lechuga	1.341,2	0,47	1.341,6
Apio	569,3	0	569,3
Poroto verde	462,7	0,44	463,1
Zanahoria	382,4	0	382,4
Repollo	177,6	0,02	177,6
Choclo	175,2	0	175,2
Haba	144,4	0	144,4
Pimiento	140,9	0,74	141,6
Zapallo	115,2	0	115,2
Tomate	92,4	4,46	96,9
Otras hortalizas	708	1,31	709,3
<b>Elqui</b>	<b>5.960,7</b>	<b>7,44</b>	<b>5.968,1</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

## 4.2 Empleos

En la cuenca, permanentemente trabajan aproximadamente 5.000 personas (Tabla 4.8), de las cuales el 84% son hombres y el 16% mujeres. Además la cantidad de empleos temporales varía entre 5.200 y 9.300 (Tabla 4.9), lo que da un total de trabajadores ligados a la agricultura en Elqui que varía entre 10.200 y 14.300, en promedio el total de puestos de trabajo entre fijo y temporal es de 11.618.

**Tabla 4.8: Empleo permanente generado por la agricultura en la Cuenca del Río Elqui.**

	<b>Empleo permanente</b>		
	<b>Total ambos sexos</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
La Serena	1.508	1.261	247
Coquimbo	1.540	1.227	313
Paihuano	461	425	36
Vicuña	1.478	1.300	178
<b>Elqui</b>	<b>4.987</b>	<b>4.213</b>	<b>774</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

La temporada Noviembre – Enero es la que genera más empleos estacionales (Tabla 4.9).

**Tabla 4.9: Empleo estacional o temporal generado por la agricultura en la Cuenca del Río Elqui entre mayo de 2006 y abril de 2007.**

<b>Empleo estacional o temporal</b>			
<b>Trimestre</b>	<b>Total ambos sexos</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
Mayo - Junio - Julio 2006	5.239	3.640	1.599
Agosto - Septiembre - Octubre 2006	6.510	4.298	2.212
Noviembre - Diciembre 2006 - Enero 2007	9.360	5.363	3.997
Febrero - Marzo - Abril 2007	5.415	3.597	1.818

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

### 4.3 Cosechas

Otro aspecto relevante que tiene relación con la disponibilidad y demanda de mano de obra para atender las necesidades de los cultivos son los periodos de cosecha (Tabla 4.10). Es así que la mayoría de los frutales no compiten con mano de obra en el mismo período que la uva, siendo el período de otoño e invierno cuando existe una mayor oferta relativa de mano de obra para distintos cultivos.

**Tabla 4.10: Período de cosecha de los frutales Región de Coquimbo.**

<b>Especie</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>Uva de mesa</b>												
<b>Vid pisquera</b>												
<b>Palto</b>												
<b>Mandarina</b>												
<b>Limones</b>												
<b>Naranja</b>												
<b>Olivo</b>												

Fuente: Seremía Agricultura 2005.

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

#### 4.4 Fuente de riego

La gran mayoría de los usuarios de la cuenca utilizan los canales de regadío, la mayoría ya no usan sus pozos para riego, desde que entró en operación el embalse Puclaro, el cual ofrece un 85% de seguridad de riego. Una excepción a lo antes expuesto corresponde a la actividad agrícola y en el sector de la quebrada Santa Gracia en el sector de Pan de Azúcar, donde hay algunos agricultores que siguen usando sus pozos para regar, esto ocurre en los predios del sector que están sobre la cota de los canales.

#### 4.5 Aplicación del riego

Existen tranques de acumulación nocturna, en los que se almacenan las aguas de cada turno de riego, para aplicarlas con desfase de hasta algunos días, según lo requiera el regadío. Muchos de estos tranques son comunitarios.

Se riega 4, 5 o hasta 8 horas por día según la demanda, cambiando la aplicación del riego a los diferentes paños. El trigo se riega 1 vez cada 12 días a 15 días, las papas y chacras en general 1 vez cada 7 días, los frutales regados por goteo se riegan durante 3 a 4 horas, 3 veces por semana.

Los cereales y la alfalfa se riegan por tendido, las papas y chacras tienen riego en general por surcos, pero también hay predios parcialmente o totalmente tecnificados, que aplican a estos cultivos el riego por cinta o goteo.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## 4.6 Métodos de riego

En términos generales la eficiencia de aplicación en un método de riego se refiere a la cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular (capa de suelo que contiene las raíces de las plantas), en relación con la cantidad total de agua que se usa.

En la cuenca se utilizan métodos de riego gravitacional y tecnificado, con distintas eficiencias de uso de agua. El uso de cada tipo de riego depende del cultivo y las condiciones geográficas donde se ubican estos, así como del dinero que disponga el agricultor y de cuanta agua tenga. Los métodos más utilizados son: riego tendido, por surcos, aspersion, microaspersion y goteo.

### 4.6.1 Métodos superficiales o de gravedad tradicionales

El agua se desplaza sobre la superficie del área a regar, cubriéndola total o parcialmente, conducida solamente por la diferencia de cota entre un punto y otro por la acción de la fuerza de la gravedad (de ahí el nombre de métodos gravitacionales).

No requieren inversiones en equipos de bombeo, tuberías, válvulas, etc., pero en cambio si precisan de un alto grado de sistematización previa de los cuadros a regar, esto es, nivelaciones para poder conducir el agua adecuadamente.

El método de riego gravitacional principalmente es utilizado en la parte baja de la cuenca (Tabla 4.11)

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Tabla 4.11: Superficie regada por métodos gravitacionales.

Comuna	Tendido	Surco	Otro Tradicional	Total
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
La Serena	581,2	3.060,9	119,9	3.762
Coquimbo (Pan de Azúcar)	267	2.546,6	137,8	2.951,4
Andacollo	27,5	35,1	0	62,6
Paihuano	19,4	410	4,1	433,5
Vicuña	161,9	701,4	2,3	865,6
<b>Elqui</b>	<b>1.057</b>	<b>6.754</b>	<b>264,1</b>	<b>8.075,1</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

#### 4.6.1.1 Riego por tendido

El riego tendido es el método de riego más sencillo y antiguo, pero a la vez el más ineficiente. Consiste en derramar agua desde una reguera construida a lo largo del extremo superior de un campo en pendiente. El agua escurre sobre la superficie del terreno por libre acción de la fuerza de gravedad, colocándose regueras interceptoras en sentido perpendicular a la pendiente para recoger el agua que tenderá a acumularse en las depresiones y redistribuirla más uniformemente. Se puede utilizar en terrenos con pendientes menores que 2% y hasta 6% si se trata de praderas.

Se reconocen como ventajas del riego por tendido:

- Permite regar cultivos de siembra densa como cereales y praderas.
- No requiere trabajar demasiado el terreno, sólo eliminar pequeños problemas de relieve para facilitar la aplicación del agua, contribuyendo a mejorar la eficiencia.
- No requiere de una alta inversión inicial ni de operación, la cual se limita básicamente al trazado de las regueras.
- Se puede emplear en todos los suelos posibles de regar, con mayor o menor eficiencia, dependiendo de las características del suelo, topografía y caudal disponible.
- Se requieren pocas estructuras hidráulicas permanentes, se limitan a la construcción de pretilas y canoas.
- Se puede emplear en suelos poco profundos y ondulados donde la habilitación de suelos no es posible.

Se reconocen como limitaciones del riego por tendido a:

- La eficiencia de aplicación del agua es muy baja, siendo el promedio de un 30%, debido a exageradas pérdidas por escurrimiento superficial y percolación profunda.
- La distribución del agua sobre la superficie regada es poco uniforme, quedando algunos sectores con exceso de humedad y otros con déficit.
- No recomendable para terrenos con pendiente muy pronunciada, debido al alto riesgo de erosión.
- Se produce una excesiva subdivisión del terreno debido al gran número de regueras y desagües que deben trazarse, lo que deteriora la maquinaria agrícola y dificulta su uso (SAG, 2005).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

#### 4.6.1.2 Riego por surcos

El riego por surcos se adapta a cultivos sembrados en hileras como papas, porotos, remolacha, cebollas, ajos, hortalizas y frutales en general. El método consiste en la entrega de agua desde una acequia madre a pequeños canales o surcos ubicados en las hileras de siembra o plantación.

En el riego por surcos, a diferencia del riego por tendido por ejemplo, se moja sólo una fracción de la superficie del suelo. Sin embargo, se debe mojar todo el suelo explorado por las raíces de las plantas. Esto se logra colocando los surcos a una distancia adecuada unos de otros, regulando su largo y aplicando tiempos de riego apropiados.

La eficiencia teórica promedio del método de riego por surcos alcanza al 50%, es decir de 100 litros que se aplican, sólo 50 l quedan disponibles para las plantas. Para usar este método con alta eficiencia se requiere tener el suelo parejo sin desniveles, de lo contrario los surcos pueden colapsar o bien se apozará el agua. Para lograr una buena eficiencia se deben determinar los siguientes factores: largo de surcos, separación entre surcos y cantidad de agua a aplicar.

El largo de los surcos va a depender del tipo de suelo, de la pendiente del potrero y de la cantidad de agua a aplicar. A manera de información general se muestran, en la tabla 4.12 los largos de surcos recomendados para diferentes tipos de suelos y pendientes (SAG,2005)

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Tabla 4.12: Largo máximo de surcos (m) para diferentes suelos y pendientes, para un riego equivalente a 10 cm. de agua.**

Desnivel del suelo (cm en 100 m)	Tipo de suelo		
	Arenoso	Franco	Arcilloso
25	220	350	460
50	145	245	310
100	115	190	250

La distancia entre los surcos depende del tipo de suelo; en suelos arcillosos el agua se mueve más en sentido lateral que en profundidad, por lo que la distancia entre surcos puede ser mayor que en los suelos arenosos.

En el riego por surcos se debe controlar bien el agua que se aplica para no provocar erosión al suelo y lograr altas eficiencias. Al iniciar el riego se debe aplicar la máxima cantidad de agua que puede llevar el surco sin causar erosión o arrastre de terrones o partículas en el fondo; una vez que el agua llega al final del surco se debe reducir el caudal a la mitad, con lo que disminuye las pérdidas por escurrimiento y percolación. Este caudal reducido se mantiene hasta completar el tiempo necesario para regar hasta la zona de raíces del cultivo.

Se reconoce como ventajas del riego por surcos:

- Permite regar cultivos sensibles al humedecimiento del suelo en la zona del cuello o tronco de la planta.
- Se consigue en forma fácil una aplicación uniforme del agua en el perfil del suelo.
- Se logran buenas eficiencias de aplicación, del orden del 50 al 60%, con metodología adecuada.
- Se logra un buen control sobre el caudal de agua aplicado a los surcos.
- Los costos de operación son relativamente bajos, especialmente en mano de obra.

Se reconoce como limitaciones del riego por surcos a:

- Requiere nivelación del suelo en el sentido del riego
- No es recomendable utilizarlo en suelos con pendientes mayores al 3%.
- Para lograr las eficiencias señaladas se debe considerar adecuadamente: tiempo de riego, largo de surco, caudal a emplear, espaciamiento entre surcos y pendiente del suelo.
- Requiere costos de inversión, cuya magnitud está determinada fundamentalmente por la nivelación de suelos y por el sistema de distribución de agua que se utilice.
- El agua con exceso de sales provoca problemas de acumulación de éstas en la parte alta de los surcos.
- No se recomienda emplear en suelos con alta velocidad de infiltración como los arenosos, ya que se subdivide mucho el terreno por la gran cantidad de canales y surcos cortos (SAG, 2005).

#### **4.6.1.3 Métodos superficiales o de gravedad tecnificados**

Son métodos que buscan evitar alguna de las pérdidas que se producen en los métodos gravitacionales tradicionales con el objeto de mejorar el control y la homogeneidad en que el agua es aplicada (SAG, 2005).

##### **4.6.1.3.1 Conducción por tuberías**

Reducen las pérdidas por conducción fuera de los límites de los cuadros de cultivo. En el caso de un sistema de riego por surcos tradicional, se puede incrementar considerablemente la eficiencia de riego si se implementa un sistema de conducción de mayor eficiencia como el “sistema californiano”, el cual consiste en la conducción y distribución de aguas en la cabecera de los surcos mediante tuberías más livianas comparadas con los materiales tradicionales y de mayor flexibilidad de asentamiento en el terreno.

##### **4.6.1.3.2 Dosificadores a los surcos**

Son métodos que logran que el caudal que recibe cada surco sea el mismo, esto se logra mediante el uso de “sifones” para tomar de canales a cielo abierto o de orificios uniformes y regulables si los surcos son abastecidos desde mangas o tuberías.

##### **4.6.1.3.3 Riego discontinuo o con dos caudales**

Especialmente diseñado para riego con pendiente. Buscan mejorar la uniformidad de infiltración a lo largo de los surcos y reducir a un mínimo las pérdidas por escurrimiento al pie. Mediante la interrupción del caudal o el uso de caudales variables ya que con caudal grande logran un mojado más rápido de la totalidad del surco y luego aportan un caudal mínimo que se infiltra casi en su totalidad.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

#### 4.6.2 Métodos presurizados

Requieren de una determinada presión para operar. El agua se traslada por una diferencia de cota entre la fuente de agua y el sector a regar, o mediante un equipo de bombeo. El agua se conduce al suelo mediante tuberías a presión. Existen diferentes tipos en función de los emisores que se utilicen.

Las ventajas que presenta utilizar métodos presurizados son:

- Se adaptan mejor a las aplicaciones frecuentes de escaso volumen a las que las plantas reaccionan mejor.
- Son más eficientes en el uso del agua.
- Manejo más económico relacionado a la mano de obra, al no requerir demasiada; y de uso de agua, ya que no humedecer todo el suelo.
- No precisan de demasiada labranza del terreno.

El principal Inconveniente radica en la mayor inversión que requiere, tanto en lo que a equipos de riego se refiere como a las infraestructuras, además de los costos de operación y el costo energético (SAG, 2005).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

#### 4.6.2.1 Riego por aspersión

Método mecánico mayor, en donde se simula de alguna manera el aporte de agua que realizan las lluvias. Consiste en distribuir el agua por tuberías a presión y aplicarla a través de aspersores en forma de lluvia. Se busca aplicar una lámina que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin producir escorrentía.

Si el equipo está bien diseñado respecto al tipo de suelo a regar se obtiene una lámina muy uniforme sin que se presente escurrimiento.

Los diversos sistemas existentes van desde los equipos autopropulsados como los cañones regadores o los equipos de avance frontal, hasta equipos de diferentes dimensiones de alas móviles.

Las ventajas que presenta este método de riego son:

- La eficiencia de aplicación del agua alcanza un promedio de 75%.
- La conducción fuera del cuadro de cultivo se hace por tuberías sin pérdidas.
- La aplicación si el sistema está bien diseñado es muy uniforme, ya que el viento es un factor importante.
- Los equipos móviles se prestan para la aplicación de riegos complementarios debido a que son desplazables y no precisan sistematización de los terrenos.

El riego por aspersión se usa en una diversa gama de cultivos que van desde hortalizas, pasturas, cereales, y en riegos complementarios de cultivos extensivos, patatas, hortalizas etc. En Elqui se utiliza en la parte baja de la cuenca, principalmente en el sector de Pan de Azúcar (Tabla 4.13) (SAG, 2005).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Tabla 4.13: Superficie regada con sistemas de aspersión.

Comuna	Aspersión Tradicional	Carrete o Pivote	Total
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
La Serena	68	105	173
Coquimbo (Pan de Azúcar)	29,4	325	354,4
Andacollo	0,5	0	0,5
Paihuano	21,5	0	21,5
Vicuña	0,7	4,2	4,9
<b>Elqui</b>	<b>120,1</b>	<b>434,2</b>	<b>554,35</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

#### 4.6.2.2 Riego por microaspersión y microjets

Los sistemas de riego por microaspersión y microjets consisten en la aplicación del agua de riego como una lluvia de gotas finas a baja altura. El agua se distribuye a través de una red de tuberías y es aplicada a las plantas mediante microaspersores o microjets, que dan un mojamiento en forma localizada. La diferencia entre microaspersores y microjets es que en los primeros el chorro de agua va rotando y en los últimos es fijo o de abanico

Se disponen de una gran cantidad de mangueras de riego que recorren las líneas del cultivo con emisores individuales o para un grupo de plantas "microaspersor" que con diferentes diseños moja una superficie relativamente pequeña.

Las ventajas que presenta este método de riego son:

- No moja la totalidad del suelo.
- Se pueden aplicar caudales importantes a baja presión (15 a 20 m.c.a.), lo que disminuye el costo total del sistema.
- Se aplica el agua en forma localizada sobre la zona de las raíces del cultivo, sin mojar las copas de las plantas, lo cual aumenta la eficiencia de aplicación del riego.
- Este sistema tiene una eficiencia de aplicación de teórica 85%, debido a que se administran caudales controlados por el cabezal de control; por lo tanto, las pérdidas por escurrimiento superficial son mínimas.
- Se pueden diluir fertilizantes y pesticidas en los volúmenes de riego, ya que son cantidades programadas.
- En cultivos con riego por microaspersión o microjets, disminuye la expansión de las malezas, debido a que el agua es aplicada en forma localizada.

La microaspersión y microjets está diseñada principalmente para frutales y vides (SAG, 2005)

#### 4.6.2.3 Riego por goteo

El agua se conduce a presión por tuberías y luego por mangueras de riego que recorren las hileras del cultivo. El emisor, externo o incorporado a la manguera de riego es un “gotero” de caudal y separación variable. Según el suelo y los cultivos aplica el agua en forma de gotas que se van infiltrando a medida que caen.

Las ventajas que presenta el riego por goteo son:

- La eficiencia del riego por goteo es muy alta (90 a 95%), y la distribución del agua es muy uniforme.
- Con este sistema se puede regar muy frecuentemente con pequeñas cantidades de agua, de tal manera que el suelo esté siempre húmedo, con buena relación entre agua y aire.
- El régimen de aplicación (intervalos entre riegos y cantidad de agua), puede ajustarse exactamente de acuerdo con las condiciones del suelo y del cultivo.
- Se aplica el agua que sólo las raíces del cultivo son capaces de absorber, por lo tanto se evita mojar otras áreas de terreno, lo que significa un control eficiente de los lugares de disposición del agua (RIL).
- Contribuye a facilitar el control de las malezas al humedecer el suelo en forma localizada, ya que el agua es entregada directamente al lado de las plantas y a lo largo de la línea de cultivo, quedando seca la superficie entre las líneas. Además, el agua de riego se aplica finamente filtrada y libre de semillas de malezas.
- Este sistema presenta facilidades para manejar caudales controlados, lo cual presenta la ventaja de poder aplicar, a través del riego, fertilizantes y pesticidas solubles en agua.

Este sistema generalmente se usa en cultivos hortícolas, vid y frutales. Así, el riego por goteo es el más utilizado en la cuenca, principalmente en la parte alta de la cuenca, donde abunda el cultivo de vides (Tabla 4.14) (SAG, 2005).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Tabla 4.14: Superficie regada con sistemas de micro riego.**

Comuna	Goteo y Cinta	Microaspersión y microjet	Total
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
La Serena	1.063,39	7,7	1.071,09
Coquimbo (Pan de Azúcar)	2.179,92	129,78	2.309,7
Andacollo	18,25	0,04	18,29
Paihuano	1.005,6	0,9	1006,5
Vicuña	4858,87	24,36	4.883,23
<b>Elqui</b>	<b>9.126,03</b>	<b>162,78</b>	<b>9.288,81</b>

Fuente: INE VII Censo Nacional Agropecuario 2007.

#### 4.7 Demanda de riego a nivel de predio

De acuerdo con las investigaciones del INIA, los agricultores que tienen 10.000 m<sup>3</sup>/ha/año tienen suficiente agua, pero muchos de ellos perciben esto como deficitario, debido a las ineficiencias prediales en el manejo del agua (CAZALAC, 2006).

En la parte media y baja de la cuenca, cuando falta el agua, lo que no ha sido el caso en la Cuenca de Elqui desde que existe el embalse Puclaro, y no se tiene acceso al agua de pozos, para los cultivos anuales se reduce el área plantada, en un 20, 30 y hasta 70 y 80%. Por ejemplo, se deja de plantar trigo, que requiere mucha aplicación de agua, y es poco rentable. Para los cultivos permanentes, no es posible reducir la superficie, por lo cual se ha tenido que asumir las bajas de rendimiento, que han llegado hasta 10-15%, en el caso de la uva pisquera. Sin embargo, los agricultores en general se adaptan a la oferta hídrica del año.

Para la gente que tiene pozos, no hay años críticos, porque suplen el déficit de agua superficial con agua subterránea. En tales casos, ha habido arriendos de agua desde pozos hacia predios vecinos (CAZALAC, 2006).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

De las 23.000 hectáreas que están en régimen de riego en la cuenca, el 55% de la superficie posee riego tecnificado, con eficiencias de riego que superan el 75%, ubicándose la gran mayoría de los predios que manejan esta tecnología sobre el embalse Puclaro.

Así, el promedio teórico de agua utilizada para regar en la Cuenca del Río Elqui es 230.000.000 m<sup>3</sup>/año.

#### **4.8 Forma de comercialización de los productos**

En general la uva de mesa se comercializa a través de las empresas exportadoras, la uva pisquera la compran las cooperativas pisqueras, las frutas como chirimoya y cítricos tienen mercado nacional e internacional, y todo lo demás tiene mercado nacional.

Un canal de distribución de productos agrícolas a nivel local son los supermercados y ferias libres.

Existen algunas plantas procesadoras de hortalizas, incipientes, de tamaño pequeño, pero que se orientan principalmente a deshidratado de pimientos (páprika) para exportación. También hay unas pocas que están procesando alcachofa, tipo alcachofín, para conserva Lafquén, Penske, Olivier.

La producción de papas, chacra y hortaliza es en general comprada en potrero por intermediarios de los mercados mayoristas de la Vega Central o de Lo Valledor de Santiago. También hay intermediarios que distribuyen hacia el norte del país. Sin embargo No existe programación o planificación de sistemas productivos hortícolas, hay falta de gestión y organización de pequeños agricultores, y no existe una organización que los agrupe.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Los productores de hortalizas orientan su producción al mercado nacional, por ello no desarrollan un esfuerzo por mejorar calidad y agregar valor al producto, ya que venden un producto de feria que no percibe diferencial de precio por calidad. Cabe mencionar que el productor no planifica su venta, sino que vende al mejor postor, sea este Lo Valledor, agroindustria o intermediario. Su objetivo es vender lo que produjo.

#### **4.9 Problemas de contaminación**

Los canales que pasan por diversos pueblos o sectores de camping, son afectados por residuos domésticos e incluso fecas, siendo este el principal problema de contaminación física que tienen las aguas de riego de la cuenca, como lo denuncian por ejemplo los usuarios del canal El Romero. En la parte baja de la cuenca, el canal Bellavista habría una proliferación de algas.

No se perciben problemas de contaminación aguas arriba de la quebrada Marquesa. Algunos canales de aguas abajo, han sido afectados por eventos puntuales de bajadas de sedimentos de los tranques de relave de la quebrada Marquesa (1997 y 2002). Esto ha significado que se han depositado sedimentos en los campos regados por estos canales, dañando la producción.

No ha ocurrido lo mismo con la quebrada de Arrayán, por la que podrían descender los aportes desde Andacollo, pero esto aparentemente no ha ocurrido, posiblemente porque este centro minero se encuentra en la divisoria de aguas de dos subcuencas, de modo que en la ubicación de los tranques de relave no hay casi ecorrentía. Lo contrario es lo que ocurre en la quebrada Marquesa, donde las mineras y sus tranques de relaves están a mitad de cuenca, ubicados dentro del cauce del río o muy cerca de él en una zona donde el cauce es muy estrecho. De este modo son afectados por caudales no despreciables ya concentrados,

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

capaces de generar erosión de tales tranques, y acarreo de grandes masas de sedimentos.

#### 4.9.1 Contaminación por Agroquímicos

Los pesticidas hasta ahora no han contaminado aguas superficiales ni subterráneas, lo que podría indicar que los ríos no son la vía principal de dispersión de ellos. Un caso distinto es el que ocurre con los fertilizantes, afectando la concentración de nitratos en las aguas subterráneas, la cual aún no ha alcanzado el límite admisible por la baja concentración base de estos compuestos. Sin embargo, se ha estado monitoreando el incremento en el uso de fertilizantes que alcanza tasas comparables a países con agudos problemas de contaminación por esta vía.

No existe un control sobre estos productos en forma intensiva, sólo existen indicaciones sobre productos prohibidos por riesgo a la salud humana; el Ministerio de Agricultura, a través del SAG, prohíbe la importación, fabricación y uso de los plaguicidas: Monofluoracetato de sodio o compuesto 1080; DDT; Dibromuro de etileno; Dieldrin, Endrin, Heptacloro y Clordan; Aldrin; 78 Diaminozide; Sales orgánicas o inorgánicas de mercurio; Mevinfos. El Servicio Agrícola y Ganadero prohíbe, además, la importación, fabricación, venta y distribución para uso y fines agrícolas, a nivel nacional, de los plaguicidas 2, 4, 5-T, Clordimeform, Toxafeno o Confechor y Lindano y todas las formulaciones que los contengan. Aun no se controla efectivamente el uso de agroquímicos, aunque el SAG lleva un control de ventas de estos productos.

Potencialmente existen algunos compuestos activos relacionados a la agricultura que podrían estar sobre el valor establecido. Estos serían: carbofurano, trifularina y clorotalonil. Dado que la agricultura de la zona es realizada por pequeños

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

agricultores, se estima que la aplicación de este tipo de productos es mucho menor.

#### 4.9.2 Residuos de Agroindustria Pisquera

La producción de Pisco, por fermentación de mosto de uva y posterior destilación, tiene como principal problema el manejo ambiental de la vinaza, residuo líquido que surge una vez terminada la destilación del pisco y representa el 75% en volumen de la materia prima que ingresa al proceso. Este residuo posee un pH 3-4, una DQO de 15.000 - 32.000 mgO<sub>2</sub>/L y una DBO<sub>5</sub> de 13.884 mgO<sub>2</sub>/L.

En un proceso típico de elaboración de pisco se produce, por cada 1000 ton de uva procesada, 2,5 a 3,5 ton de escobajo, 10 a 12 ton de orujo y 2,5 a 3,5 ton de borra prensada. Estos valores son considerables teniendo en cuenta que cada año entran al mercado del pisco en promedio 150 millones de kilos de uva, que generan 115 millones de litros de vino que se destilan. El licor generado alcanza las 5 millones de cajas con 12 botellas de 700 cc de pisco y por lo tanto más de 80 millones de litros de vinaza en las regiones de Atacama y Coquimbo.

La vinaza se dispone en el suelo, lo que puede significar el deterioro de este, además de influir negativamente en la calidad de las aguas subterráneas y superficiales. Esta forma de disposición puede producir conjuntamente olores molestos que afectan a poblaciones cercanas. En general, sus características no permiten que ellas sean vertidas directamente a cuerpos receptores. Debido a esta situación el 19 de Agosto de 2004, en Vicuña, se firmó el Acuerdo de Producción Limpia del Sector Productores de Pisco y Procesadores de Uva Pisquera. El objetivo general de este acuerdo es incorporar medidas y tecnologías de Producción Limpia, aumentando la eficiencia productiva y reduciendo la contaminación de origen (Castro y Tapia, 2006). Por otra parte las empresas pisqueras y vinícolas deben cumplir con la "Guía: Condiciones Básicas para la

---

"Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales."

Aplicación de Riles de Agroindustrias en Riego", el que fue realizado por ATM Ingeniería Ltda., por Resolución Exenta N°3619, del 09 de diciembre del año 2003 y fue refrendado por el SAG, en Junio de 2005.

Documento Proyecto CAMINAR

---

"Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo:  
Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales."

## 5 Análisis comparativo minería-agricultura

### 5.1 Oferta de Agua y demandas agrícolas y mineras

El caudal promedio anual del Río Elqui es en régimen “natural”  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  (misma cantidad distribuida por la red canales de la cuenca), por lo que se puede estimar como oferta de agua una dotación aproximado de 220 millones  $\text{m}^3/\text{año}$  en promedio.

La oferta por parte de los acuíferos a la cuenca está dada por los permisos otorgados por la DGA que dan una dotación para ofrecer cercano a los 132,5 millones de  $\text{m}^3/\text{año}$ .

Así, se puede estimar que la oferta hídrica de la cuenca es de 352,5 millones  $\text{m}^3/\text{año}$ .

La minería de la cuenca requiere aproximadamente 10,6 millones  $\text{m}^3/\text{año}$ , que proviene de fuentes subterráneas mayoritariamente. La demanda de agua agrícola se puede estimar en 230 millones  $\text{m}^3/\text{año}$ , siendo la mayoría de estos requerimientos abastecidos por fuentes superficiales. Al considerar un 40% de pérdidas en la conducción en la red de canales, se estima que la agricultura podría demandar potencialmente un volumen de 100 millones  $\text{m}^3/\text{año}$  adicionales de aguas subterráneas para suplir sus demandas.

Las demandas conjuntas para aguas subterráneas alcanzan los 110,6 millones  $\text{m}^3/\text{año}$ , quedando disponibles 22,5 millones  $\text{m}^3/\text{año}$  de agua, estos en acuíferos de la parte alta de la cuenca. Toda la oferta de agua superficial es aprovechada por la agricultura, pero se pierden 90 millones  $\text{m}^3/\text{año}$  de agua en la conducción de esta.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Finalmente, otro uso relevante del agua en la cuenca corresponde al agua potable destinada a abastecer a las ciudades de La Serena y Coquimbo. Este alcanza los 22 millones m<sup>3</sup>/año.

Así, sumando las distintas fuentes de disponibilidad y los distintos destinos y consumos del agua en la cuenca, podemos ver que estos se encuentran en un aparente equilibrio dinámico. Ciertamente, la relativamente reciente construcción y puesta en marcha del Embalse Puclaro en el curso medio de la cuenca ha permitido aumentar la seguridad de riego en el sector agrícola, principal usuario del agua de la cuenca.

Así, se puede señalar que la vulnerabilidad frente a eventos de sequía normales en la zona se ha visto disminuida. En efecto, desde su construcción y puesta en marcha, el Embalse Puclaro ha registrado en varias oportunidades (como el momento de terminar este trabajo, Diciembre de 2008) evacuación de sus excedente a través de su vertedero de descarga lateral.

## **5.2 Eficiencias en el Uso de Agua**

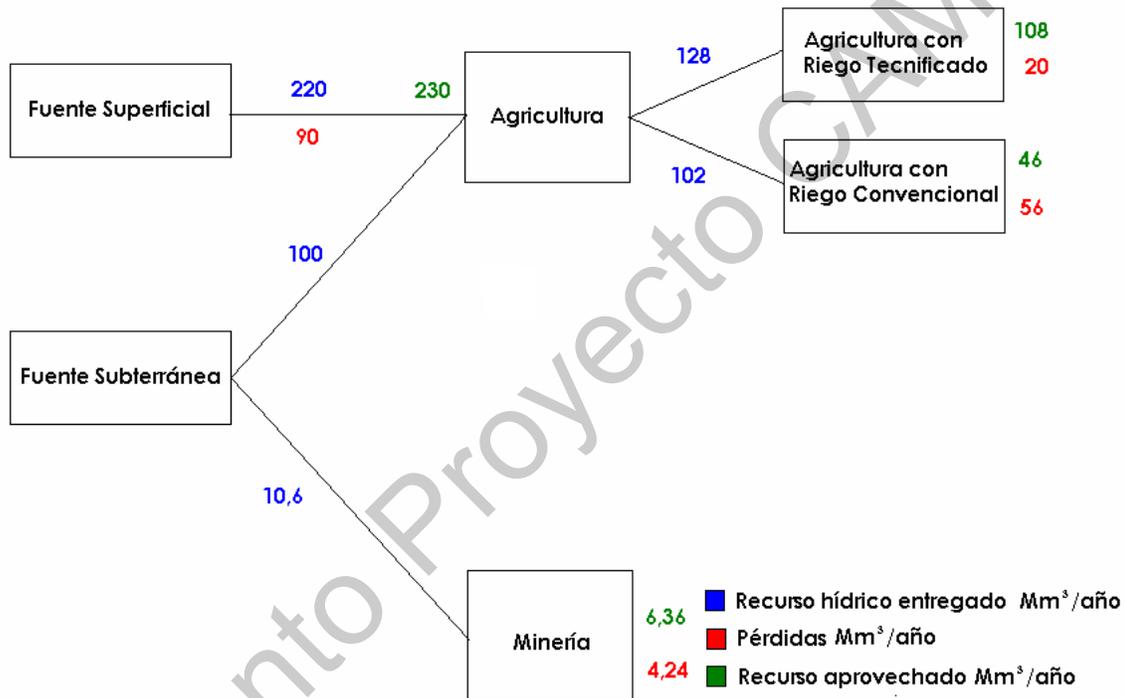
De acuerdo a la información que fue posible recopilar durante el desarrollo de este trabajo, se pudo estimar que la minería de la cuenca tiene una eficiencia de uso de 60%. Para analizar la eficiencia de uso de agua en la agricultura, esta se divide en agricultura con riego tecnificado que tiene un 90 % de eficiencia de aplicación y cubre un 55% de la superficie regada en la cuenca y agricultura sin riego tecnificado que tiene una eficiencia de aplicación promedio de 45%, cubriendo el 45% restante de la superficie de riego.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Con estos datos, se puede calcular cuanta agua es bien utilizada en la cuenca. La oferta hídrica de la cuenca es como se señaló anteriormente de 352,5 millones  $m^3$ /año en términos globales y a mediano plazo, de los cuales se pierden 170,24 millones de  $m^3$ /año, o sea se aprovecha bien el 52,7 % del agua entregada (Figura 5.1). Esto debido a la mala conducción en la red de canales y poca eficiencia en los métodos convencionales de riego.

Figura 5.1: Esquema de actual distribución de agua.



La pérdidas relativas a la minería y la agricultura que posee riego tecnificado son difíciles de disminuir, ya que ahí se maneja el agua a la máxima eficiencia posible. Pero donde se pueden evitar pérdidas de agua es en la conducción de aguas superficiales y en los métodos de riego convencionales, donde se podría generar un excedente de 146 millones de  $m^3/año$  adicionales para usos agrícolas y mineros. Ello, sin desconocer los riesgos que puede plantear una “conducción sin pérdidas” considerando los problemas que podrían afectar a los agricultores de la parte baja de las aguas perdidas en la conducción o infiltradas por el riego.

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### 5.3 Comparación entre minería agricultura respecto al uso de recurso hídrico de la Cuenca del Río Elqui

Dados los totales de producción, total de trabajadores y consumo de agua por parte de la minería y agricultura de la cuenca, se compararan ambos rubros para ver como influye un m<sup>3</sup> de agua en ambas actividades (Tabla 5.1).

Para estimar la producción agrícola se consideraron los rendimientos por hectáreas de los distintos tipos de cultivo, así obteniendo un promedio de 220.000 t/año. Por la parte minera, se sumaron las producciones anuales de las distintas empresas mineras y mineros artesanales que operan en la Cuenca (cobre electrolítico, oro, etc.), lo que da un promedio estimado de 71.615 t/año.

Tabla 5.1: Uso de agua y producción agrícola y minera.

Actividad	Producción (t/año)	Trabajadores	Consumo de Agua (Mm3/año)
Minería	71675	2710	10,6
Agricultura	220000	11618	320

Para comparar como se utiliza un m<sup>3</sup> de agua entre la minería y la agricultura de la cuenca, se analiza:

1 millón m<sup>3</sup> de agua da trabajo en la agricultura a 36 personas y sirve para regar en 720 ha de cultivos, siendo de uva de mesa genera utilidades de \$ 2.520 millones y siendo de papas genera utilidades de \$ 1.440 millones ,según datos del “Estudio de la capacidad de pago de los regantes ubicados en el área de influencia del Embalse Puclaro”, realizado en 2007 por la JVRE.

1 millón m<sup>3</sup> de agua da trabajo en la minería a 256 personas sirve para producir 26.000 t de concentrado de minerales de cobre de 1% de ley lo cual genera utilidades según el precio del cobre (Tabla 5.2).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Tabla 5.2: Utilidades de venta de concentrados de Cu.**

Precio del Cobre U\$/lb	Costo de Producción U\$/t	Valor de Concentrado U\$/t	Utilidades U\$/t
1,5	690	790,75	100,75
2	690	1108,87	418,87
2,5	690	1426,99	736,99
3	690	1745,12	1055,12
3,5	690	2063,24	1373,24

Las utilidades que genera 1 millón de m<sup>3</sup> de agua con el precio del cobre a 1,5 U\$/lb son \$ 1.600 millones (U\$ 2,6 millones), y cuando el precio del cobre llega a 3,5 U\$/lb se llegan a generar más de \$ 21.000 millones (U\$ 35,7 millones)

De los datos expuestos anteriormente se desprende que la minería tiene un menor requerimiento de agua que la agricultura. Respecto a la eficiencia económica que implica destinar el agua a actividades mineras, respecto a las agrícolas, ello depende en gran parte de los precios que alcanzan los productos. En condiciones normales, el agua rinde más dedicada a actividades mineras.

Ello se expresa en el hecho de la disposición a pagar sumas elevadas, por parte de las empresas mineras a la agricultura así como en el hecho de que no existan transacciones inversas (que una empresa agrícola compre aguas a una minera). Sin embargo, en etapas de bajas de precio del cobre o el oro, el precio de costo de producir el metal excede su precio de venta. En consecuencia no tiene sentido continuar la producción, a menos que ésta sea subsidiada por el Estado.

Finalmente, hay que considerar el hecho de que el número de plazas de trabajo ofrecido por la minería es pequeño comparado con el de la agricultura. De ahí la sustentabilidad de esta última actividad, resguardándola respecto a la contaminación que pueda generar la actividad minera descuidada.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

#### 5.4 Proyección futura de la minería y agricultura de la cuenca

Dada las actuales condiciones, ni la minería ni la agricultura pueden expandirse sin antes mejorar las condiciones de uso. En este escenario las demandas de agua del Proyecto Hipógeno no pueden ser abastecidas. Pero mejorando las actuales ineficiencias de manejo del recurso, se podría utilizar 146 millones de  $m^3$ /año adicionales para usos agrícolas y mineros. Así, se puede proyectar un aumento de la producción tanto minera como agrícola.

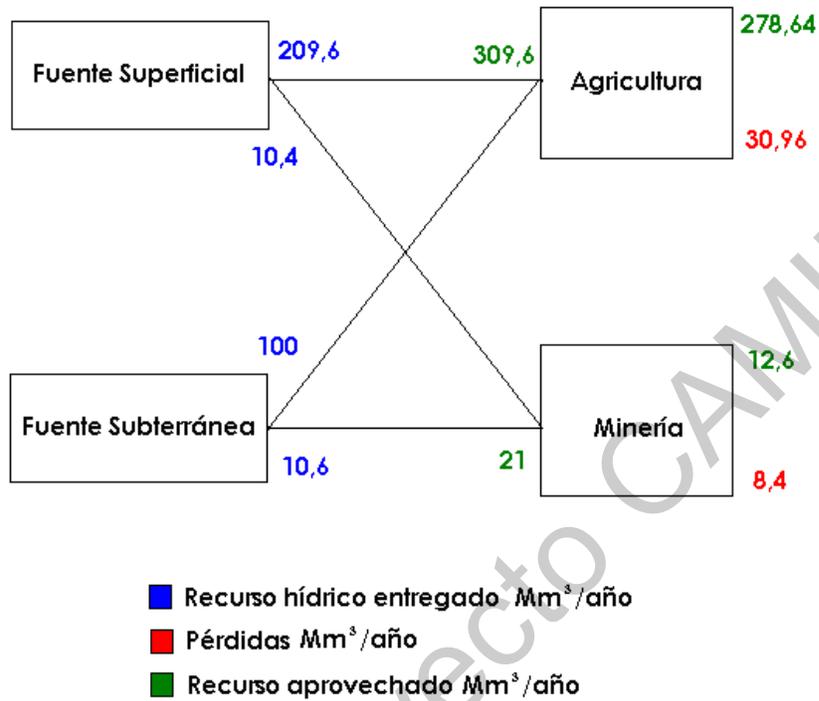
Bajo el supuesto de que se hayan mejorado las ineficiencias anteriormente descritas y considerando a un futuro cercano como única expansión minera al Proyecto Hipógeno 10,4 millones  $m^3$ /año de agua, la producción minera aumentaría de 71 mil t/año a 17,4 millones t/año. La agricultura podría incrementar su demanda de agua en 135 millones  $m^3$ /año, por lo que se estima que la producción agrícola aumentaría a 310.000 t/año (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Producción y consumo de agua.

Actividad	Producción (t/año)	Consumo de Agua (Mm <sup>3</sup> /año)
Minería	17.409.175	21
Agricultura	312.812	455

Debido a la escasez de agua en el acuífero Pan de Azúcar, lo más probable es que el Proyecto Hipógeno deberá abastecerse de agua superficial. En este escenario el consumo de agua entre minería y agricultura abastecido por fuentes superficiales sería de 330,6 millones  $m^3$ /año, de los cuales sólo se perderían 39,36 millones  $m^3$ /año, aprovechando bien el 88,1% del agua (Figura 5.2).

Figura 5.2: Esquema de distribución de agua.



“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## 6 Conclusiones y Comentarios

### 6.1 Conclusiones específicas

**Objetivo1: Conocer la forma de utilización del recurso en la minería y agricultura.**

#### 1.1 Utilización del recurso hídrico en la minería

En la Cuenca del Río Elqui el recurso hídrico es utilizado por la minería principalmente en:

a) El beneficio metalúrgico del Cu, proceso orientado a la producción de concentrados de Cu por medio de flotación de minerales sulfurados. Este muestra consumos promedios estimados de  $3,2 \text{ m}^3/\text{t}$ , sin recuperación de agua. Algunas empresas cuentan con métodos simples que permiten recuperaciones cercanas al 60% del volumen de agua descartada, con lo cual el gasto estimado promedio baja a  $1,28 \text{ m}^3/\text{t}$  de mineral procesado.

b) El beneficio hidrometalúrgico del Cu, proceso aplicable a la producción de cátodos de Cu en Andacollo y Sulfato Pentahidratado de Cu en Lambert, que presenta consumos teóricos de agua de  $2,4 \text{ m}^3/\text{t}$ . Debido a que en este tipo de proceso el 70% del agua recircula, el gasto estimado de agua se reduce a  $0,7 \text{ m}^3/\text{t}$ .

c) Otros consumos:

-Extracción minera: Estas operaciones utilizan el agua fundamentalmente para la supresión del polvo generado en los procesos de perforación. Su consumo es despreciable.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

-Riego de caminos: Estas actividades aplican agua para evitar la suspensión de polvo dentro de las instalaciones y en los caminos de acceso. En base a la información recopilada en este estudio, se estima un gasto de 55 m<sup>3</sup>/d por cada empresa, por todos los días del año.

Sobre la base de los antecedentes antes descritos, se puede señalar que la actividad minera asociada a la Cuenca del Río Elqui implica un consumo anual de agua de 10,6 millones de m<sup>3</sup>, equivalentes a 29.000 m<sup>3</sup>/d. Esta agua proviene mayoritariamente desde los acuíferos subterráneos de la cuenca.

## 1.2 Utilización del recurso hídrico en la agricultura

Los terrenos agrícolas que en la actualidad están utilizando agua de la cuenca para el riego de los cultivos respectivos, alcanzan una superficie de 23.000 ha y representan una demanda promedio de 230 millones de m<sup>3</sup>/año de agua. Aproximadamente un 56% de esta demanda (130 millones de m<sup>3</sup>) es abastecida por el embalse Puclaro y los restantes 100 millones de m<sup>3</sup> (44% de la demanda) se extraen desde fuentes subterráneas. Se utiliza agua subterránea en lugares sobre la cota de los canales de riego. Sin embargo, en lugares con acceso a canales de regadío, se reconoce la existencia de un número no determinado de pozos ilegales, de los cuales no se lleva registro del caudal, que extraen a lo largo de la cuenca.

Los distintos métodos de riego utilizados en la cuenca varían en su eficiencia de aplicación desde un 30% a un 95%. El 55% de la superficie regada cuenta con sistemas de riego tecnificado que promedian una eficiencia en torno al 90%, especialmente en la parte alta de la cuenca en donde se utiliza riego por goteo en cultivos mayoritariamente de uva y frutales.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

La pérdida de agua en la conducción de la red de canales de la cuenca se estima en un 40%. Para suplir la demanda para riego agrícola es necesario distribuir 220 millones de m<sup>3</sup>/año, de los cuales se aprovechan 130 millones de m<sup>3</sup>/año en riego.

### 1.3 Requerimientos totales de agua de la cuenca

Sobre la base de lo señalado, el uso de las aguas de la cuenca, para abastecer los requerimientos de las actividades agrícolas y considerando aguas superficiales y subterráneas, se distribuyen como muestra la tabla 6.1:

Tabla 6.1: Requerimientos de agua de la minería y agricultura de la Cuenca del Río Elqui.

Actividad	Agua Subterránea (Mm <sup>3</sup> /año)	Agua Superficial (Mm <sup>3</sup> /año)	Total (Mm <sup>3</sup> /año)
Agricultura	100	220	320
Minería	10,6	0	10,6
<b>Total</b>	<b>110,6</b>	<b>220,0</b>	<b>330,6</b>

**Objetivo 2: Evaluar el grado de eficiencia desde tres puntos de vista: eficiencia física, eficiencia económica y eficiencia social del uso del recurso hídrico aplicado en la forma en que actualmente se hace.**

### **2.1 Eficiencia física:**

La minería presenta una mayor eficiencia de uso de agua que la agricultura, ya que en el sector minero se esmeran en recircular el máximo posible dentro de sus procesos. En tanto, la agricultura aún presenta ineficiencias en aplicación de riego y conducción.

### **2.2 Razón de uso económico:**

La minería presenta normalmente una mejor eficiencia económica que la agricultura, lo que se expresa en la disposición de este sector a comprar agua a los agricultores. Sin embargo, esa eficiencia se anula en etapas de precios deprimidos de los productos minerales.

### **2.3 Eficiencia social:**

Comparando el rendimiento  $m^3$ /trabajador, la minería presenta un mejor rendimiento que la agricultura, lo cual es una mayor eficiencia. Sin embargo, la agricultura contrata a más de 12.000 personas y la minería solamente a 2.700, número que puede disminuir drásticamente si el precio de los minerales desciende excesivamente y no se cuenta con subsidios estatales.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Objetivo 3: Determinar si este uso es sostenible ambientalmente, para detectar si existen ineficiencias en el manejo que puedan ser subsanadas.**

En el sector minero, el uso de agua se puede considerar en general como adecuado, dado que las empresas mineras recirculan un 60% del agua en sus procesos. Además de ser un ahorro económico, no se generan riles ya que esta agua recirculadas contienen reactivos de los procesos.

Un aspecto en el que se lograría una mejora es lo relativo al riego de caminos, ya que por ejemplo se podría ahorrar aquel gasto estabilizando con sales las rutas de mayor tráfico vehicular.

En el sector agrícola, en los últimos años se han mejorado los sistemas de riego en varios predios, un 55% de la superficie regada cuenta con sistemas de riego tecnificado que supera el 75% de eficiencia de aplicación.

La mayor ineficiencia en el uso de agua superficial es la conducción de ésta, ya que se pierde un 40% a causa de infiltración, fugas y problemas de manejo. Con el objetivo de disminuir estas pérdidas se deben mejorar estos aspectos entubando o revistiendo canales y aumentando la cantidad de celadores para que se actúe más rápido ante problemas de fugas o desbordes en canales.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Objetivo 4: Considerar aspectos básicos relativos a la economía del agua en la cuenca, en particular el valor de la transacción de los derechos de agua entre los usuarios agrícolas y entre estos y el sector minero.**

El agua en la Cuenca del Río Elqui se considera un recurso escaso, dada la demanda que tiene por parte de la minería y agricultura, por lo cual, ambos sectores tienen una disposición al buen uso de ésta. Lo anterior se expresa en las prácticas de recirculación de agua en procesos de beneficio metalúrgico así como en la conversión y adopción de sistemas de riego tecnificados.

Por el lado de la administración y manejo de aguas superficiales, la JVREyA se ha esmerado en mejorar la administración, logrando buenos resultados. En el área técnica se está trabajando en mejorar las fallas de conducción, realizando trabajos de revestimiento en tramos de canales en zonas urbanas, para prevenir accidentes y contaminación de las aguas.

En el tema de transacción de derechos de aguas superficiales, no existen mayores problemas entre accionistas de un mismo canal o entre los de distintos canales legalmente constituidos (teniendo en cuenta la capacidad de los canales).

El costo de las acciones es variable, dependiendo de la ubicación del canal y la demanda de agua en el sector. Desde que el embalse Puclaro funciona, los precios de los derechos de agua, han aumentado su valor, dada la seguridad de riego que entrega el embalse con respecto a una entrega constante.

Para este trabajo no fue posible encontrar a información sobre transacciones de derechos de agua entre sector agrícola y minero.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Objetivo 5: Analizar situaciones de conflictos ambientales asociados a las actividades económicas de la cuenca, en particular agricultura y minería.****5.1 Asociado a la minería:****5.1.1 Distrito El Indio y su plan de cierre**

Las causas de la mala calidad de las aguas que pasan por los ríos Malo y Toro no son sólo antrópicas, producto de actividades como excavaciones, desechos mineros, residuos del beneficio metalúrgico, etc. realizadas por las distintas empresas dueñas de las faenas del distrito; sino que también son naturales, a causa de alteraciones hidrotermales, como lo indica ya el informe del estudio realizado por ENAMI en 1970.

De los efectos del plan de cierre efectuado por Barrick, se puede destacar que ha sido exitoso en el objetivo de bajar las concentraciones de As de las aguas, ya que estos elementos quedan depositados en la Laguna de Sedimentación y el Tranque Pastos Largos. Pero el pH sigue bajando su promedio debido al aumento de la superficie de contacto entre el agua, aire y la roca, lo que facilita la disolución de Cu y Zn.

**Derrame de relaves**

Los episodios de emergencias ambientales derivadas del vertido de tranques de relaves producidos, debido a causas climáticas en 1997 y en 2002 debido a fallas operacionales, causaron problemas no permanentes en la calidad de las aguas; sin embargo, el daño causado por los sedimentos que fueron transportados por el río y canales de riego es difícil de reparar en el corto plazo.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

La gran cantidad de tranques de relaves, muchos de ellos abandonados (pasivos ambientales) a lo largo de la cuenca, principalmente en las quebradas de los distritos Talcuna y Andacollo, presentan un peligro potencial de repetir los eventos de la quebrada Marquesa.

### **Polvo en suspensión**

El problema que genera la suspensión de polvo a causa de la alta frecuencia de tránsito en caminos no pavimentados, abarca a toda la cuenca, especialmente, en los sectores poblados de Marquesa y Andacollo. En el último, además del polvo levantado por los camiones, es un tema de preocupación, el polvo en suspensión causado por las tronaduras y etapa de chancado de las faenas mineras que se encuentran cerca de la ciudad.

### **5.2 Asociados a la agricultura:**

Los canales sufren contaminación doméstica, provocada por los usuarios de camping y zonas de turismo no habilitadas y también por los habitantes de zonas rurales y urbanas por donde pasan estos canales.

No se ha detectado contaminación en aguas superficiales de productos de uso agroquímicos. Sin embargo, es importante aclarar que en Chile no existe un control intenso sobre el uso de estos productos, aunque existen indicaciones sobre productos prohibidos que ponen en riesgo la salud humana, de los cuales se prohíbe su importación y fabricación. Sobre esto último, el SAG lleva un control de ventas de agroquímicos.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## **Residuos de industria pisquera**

La vinaza se dispone en el suelo, lo que puede significar el deterioro de este, además de influir negativamente en la calidad de las aguas subterráneas y superficiales. Esta forma de disposición puede producir conjuntamente olores molestos que afectan a poblaciones cercanas.

### **5.3 Asociados a la minería y agricultura:**

De acuerdo a las entrevistas con personas ligadas a la minería y agricultura de la cuenca, no existen mayores problemas en la convivencia de ambos rubros en la zona. Las dos excepciones son los derrames de relaves en Talcuna en el pasado y en la actualidad el Proyecto Hipógeno de la Minera Carmen de Andacollo. Esto preocupa a los agricultores de la cuenca de Pan de Azúcar, quienes creen que con la extracción de la minera se duplicará en forma inmediata la demanda de agua en el acuífero, afectando la agricultura del sector. Con el proyecto como está considerado actualmente, proveyéndose de agua del acuífero de Pan de Azúcar, la vida útil podría bajar a 3 años considerando el uso agrícola actual, lo cual sería un daño a la sustentabilidad de la cuenca. Definitivamente, la minera Carmen de Andacollo debe analizar su opción de hacer uso de recursos superficiales para llevar a cabo este proyecto.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

**Objetivo 6: Analizar aspectos relativos a la economía de la cuenca.**

Respecto a la minería de la cuenca, esta es muy susceptible al precio del cobre, siendo el factor de mayor influencia para la minería artesanal y mediana, debido a que el precio bajo de éste afecta la viabilidad de seguir operando, lo cual trae inmediatas consecuencias sociales de desempleo.

Respecto al rubro agrícola, al generar productos básicos, económicamente tiene holgura para enfrentar la variación de precios de los productos a largo plazo. Eventos climáticos como sequías y heladas, generan grandes daños económicos en el sector.

Económicamente, no fue posible elaborar un análisis comparativo, dado que la información requerida para hacer estas apreciaciones no se desglosa a nivel de cuenca, y, considerando que la agricultura y la minería de las otras cuencas de la Región de Coquimbo presentan realidades distintas a la de Elqui, es que este punto se ha dejado sin respuesta.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## 6.2 Conclusión General

En las actuales condiciones de uso por parte de la minería y la agricultura, el recurso hídrico alcanza para satisfacer las demandas de ambos rubros en un equilibrio aparentemente delicado, dado que el agua superficial no es suficiente para suplir las necesidades de la cuenca y en tres sectores hidrogeológicos se presenta una demanda mayor a la que pueden ofrecer.

Si se llegase a producir un aumento en la demanda, obligatoriamente se deben tomar precauciones para no sobreexplotar acuíferos, y hacer mejoras en la red de canales para utilizar el agua que se pierde actualmente.

En lo referido a contaminación de cuerpos de agua, contaminación por drenaje ácido de mina se relaciona al distrito El Indio, en el que por efecto del plan de cierre se ha controlado la movilidad del As, además del efecto de dilución que hacen las aguas de los ríos Ingaguaz, La Laguna y Claro. Otros eventos puntuales de contaminación, como derrames de relaves, han sido tomados como hitos, tanto para empresarios como para los entes fiscalizadores en razón de que éstos no vuelvan a ocurrir.

### 6.3 Comentarios

La idea principal de este trabajo de título era contar con información de primera mano por parte del sector público y privado ligado a la minería, agricultura y recurso hídrico de la cuenca, para así lograr una estimación óptima de parámetros que muestren la realidad sobre el uso de agua en la Cuenca del Río Elqui (Anexo).

Lamentablemente, los compromisos suscritos por la mayoría de los actores interesados en la cuenca no fueron cumplidos a cabalidad. Dado lo anterior, sólo se obtuvo información parcial que en gran parte es poco específica por si misma. Por esto, se optó por trabajar con los datos obtenidos y hacer aproximaciones con referencias a publicaciones anteriores y apreciaciones teóricas. Luego, no se consiguió realizar todas las actividades esperadas al principio de este trabajo y los resultados pueden presentar ciertas inexactitudes y deben, por lo tanto, ser considerados en términos globales – referenciales solamente.

Sobre la información bibliográfica, la mayor parte de los datos se concentran a nivel regional, por lo cual se complica hacer estimaciones de carácter provincial o a escala de cuenca, por ejemplo información económica. Un tema importante que se debe solucionar para realizar un mejor trabajo en manejo de cuencas.

De lo anterior se puede destacar que a pesar de las faltas de información que pueda afectar los resultados expuestos en el presente trabajo, éstos representan en líneas gruesas la realidad de los aspectos económicos, sociales y ambientales de la Cuenca del Río Elqui.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

### Referencias Bibliográficas

Aros, V (2003). Informe técnico derrames tranques de relaves distrito Talcuna. La Serena, 15 p.

Aguirre, I.; Egert, e. 1970. Cuadrángulo Lambert (La Serena), provincia de Coquimbo. Instituto de investigaciones geológicas, carta geológica de Chile, no. 23. 14 p.

Boric, R (1985). Geología y yacimientos metálicos del distrito talcuna, Región de Coquimbo. Revista geológica de Chile.

Castro, P; Tapia, M (2006). Determinación de parámetros de diseño para el tratamiento biológico aeróbico de vinaza pisquera. Tesis de Ingeniero Civil Ambiental. Universidad de La Serena, Chile. 211 p.

CAZALAC (2006). Aplicación de metodologías para determinar la eficiencia de uso del agua estudio de caso en la Región de Coquimbo, 896p.

CAMINAR DOW (2007). Resumen descriptivo proyecto caminar. La Serena. 4 p.

Centro de Información de Recursos Naturales (2005). Catastro frutícola IV Región, principales resultados. 43 p.

Compañía Minera Palo Negro (2003). Declaración de impacto ambiental proyecto tranque de relaves Las Mollacas. La Serena. 83 p.

Compañía Minera Carmen de Andacollo (2006). Resumen del estudio de impacto ambiental Proyecto Hipógeno, La Serena. 30 p.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

CONAMA (2006). Anteproyecto norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la Cuenca del Río Elqui. Santiago. 10 p.

Dirección General de Aguas (2003). Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la Cuenca del Río Elqui IV región. 63 p

Dirección General de Aguas (2004). Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. 143p.

Galleguillos, G (2004). Efectos de la actividad minera y de las obras hidráulicas en la calidad de las aguas del Río Elqui y de sus afluentes. Tesis de Ingeniero Civil Ambiental. Universidad de La Serena, Chile. 247 p.

Galleguillos, G (2008). Retención de arsénico en embalses: el caso del Río Elqui, Chile. 8 p.

Guevara, S (2003). Distribución y comportamiento de metales pesados en las aguas del Río Elqui y sus tributarios. Tesis de ingeniero Civil Ambiental. Universidad de La Serena, Chile. 245 p.

Higueras et al (2004), environmental assessment of copper–gold–mercury mining in the Andacollo and Punitaqui districts, northern Chile. 10 p.

Ingeniero Andino (2003) .Volumen X. N° 628. Santiago. 4p.

Instituto Nacional de Estadística (2007), VII Censo nacional agropecuario y forestal, 8 p.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

Lagos, G (1997). Eficiencia del uso del agua en la minería del cobre, trabajo presentado en el seminario del CEP sobre gestión del agua en la minería, en junio de 1997. 18 p.

Morales, H (2005), Organizaciones de usuarios de agua de la Cuenca del Río Elqui. 21 p.

Sánchez, J (1996). Impacto ambiental de la pequeña y mediana minería en Chile, documento preparado para la división de industria y minería del banco mundial en el marco del proyecto “environmental study of artisanal, small and medium mining in Bolivia, Chile and Perú”, patrocinado por el banco mundial e international development and research (Canadá). 81 p.

Servicio Agrícola Ganadero (2005), Guía: Condiciones básicas para la aplicación de riles de agroindustrias en riego. 385p.

Servicio Nacional de Geología y Minería (2000). Atlas de faenas mineras minas y plantas, Región III y IV, 70 p.

Squeo, F; Arancio, G; Gutiérrez, J (2002). Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo Universidad de La Serena, Corporación Nacional Forestal y Gobierno Regional de Coquimbo. 372 p.

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

## Anexos

### Anexo 1

#### Encuesta Aplicada a Minas

1. Nombre empresa o dueño
2. Nombre mina
3. Sistema de explotación (método)
4. Elemento principal
5. Subproductos
6. Situación actual
7. Año puesta en marcha (historia)
8. Año de cierre
9. Proyectos futuros
10. Producción anual de mena (actual y promedio de los últimos 10 años)
11. Precio que se obtiene por el producto (actual y promedio de los últimos 10 años)
12. Costos de Producción
13. Retorno por unidad de agua
14. Mercados a que destina el producto (plantas)
15. Ubicación de las fuentes de agua (coordenadas o plano)
16. Derechos de agua obtenidos de cada fuente y tipo de derechos
17. Caudal utilizado por tipo de fuente
18. Producción anual o mensual de agua en las fuentes, histórica y proyectada
19. Calidad de agua requieren los procesos
20. Pérdidas de distribución o conducción
21. Procesos en los que usa agua (uso teórico y real)
22. ¿Recircula aguas?
23. ¿Utiliza aguas para enfriamiento?
24. Existencia de desmontes (botaderos)

25. Puntos de descarga de riles u otros efluentes
26. Características de calidad de riles
27. Otro tipo de impacto ambiental :
28. Acciones de mitigación de impacto ambiental
29. Emergencias (Ambientales) (históricas)
30. Dotación
31. Genero
32. Ciudad de residencia del personal
33. ¿Cuáles son sus principales necesidades?
34. ¿Cuáles son sus principales problemas?
35. ¿Qué importancia le da al tema medioambiental?
36. ¿Cómo es su relación con los agricultores?
37. ¿Cómo es su relación con otros mineros?

## **Anexo 2**

### **Encuesta Aplicada a Plantas de Beneficio Metalúrgico**

1. Nombre empresa o dueño.
2. Nombre planta.
3. Proceso.
4. Pasta Principal.
5. Producto principal y subproductos.
6. Situación actual.
7. Año puesta en marcha (historia).
8. Año de cierre.
9. Proyectos futuros.
10. Producción anual del producto (actual y promedio de los últimos 10 años).
11. Precio que se obtiene por el producto (actual y promedio de los últimos 10 años).

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

12. Costos de Producción (listados).
13. Retorno por unidad de agua.
14. Mercados a que destina el producto.
15. Ubicación de las fuentes de agua (coordenadas o plano).
16. Derechos de agua obtenidos de cada fuente y tipo de derecho.
17. Caudal utilizado por tipo de fuente.
18. Producción anual o mensual de agua en las fuentes, histórica y proyectada.
19. Calidad de agua requieren los procesos.
20. Pérdidas de distribución o conducción.
21. Procesos en los que usa agua (uso teórico y real).
22. ¿Recircula aguas?
23. ¿Utiliza aguas para enfriamiento?
24. Existencia de relaves ( anual, volumen acumulado, tipo de tranque).
25. Puntos de descarga de riles u otros efluentes.
26. Características de calidad de agua de relaves y riles.
27. Otro tipo de impacto ambiental.
28. Acciones de mitigación de impacto ambiental.
29. Emergencias Ambientales (históricas).
30. Dotación.
31. Genero.
32. Ciudad de residencia del personal
33. ¿Cuáles son sus principales necesidades?
34. ¿Cuáles son sus principales problemas?
35. ¿Qué importancia le da al tema medioambiental?
36. ¿Cómo es su relación con los agricultores?
37. ¿Cómo es su relación con otros mineros?

**Anexo 3****Encuesta Aplicada a Faenas Agrícolas**

1. ¿Cuántas hectáreas riega?
2. ¿Desde cuándo existe como regante?
3. Derechos que posee, canal o sección donde los posee, permanentes o eventuales.
4. Derechos están inscritos, ¿dónde? ¿Funciona el mercado del agua?
5. Con qué sistema riega el área que representa (canal, pozo, vertiente)
6. ¿Qué pérdidas físicas de agua tiene su canal o sistema de riego, dentro del predio, fuera del predio?
7. ¿Qué cultivos riega?, ¿Cuántas hectáreas cada uno?
8. ¿Qué métodos de riego aplica en cada uno?
9. Sistema de riego: horas de riego, riego nocturno o tranque de acumulación.
10. Si riega con pozos, ¿cómo los opera? ¿Caudal, tiempo de bombeo?
11. ¿Cuál es el costo de la electricidad para el bombeo? ¿Cuánto paga al mes?
12. ¿Usa tarifas especiales, industriales u otras?
13. ¿Cuánta agua aplica al riego, anual o mensualmente, en total o por cultivos?
14. En cuanto al agua, el año 2006/7 ¿Fue representativo, bueno, malo?
15. ¿Funciona el mercado del agua en su canal o su sector?
16. ¿Ha participado en el mercado del agua?
17. Su organización ¿Fomenta el mercado del agua?
18. ¿Su infraestructura permite el mercado del agua?
19. ¿De qué depende si participa o no?
20. ¿Le gustaría participar? ¿Necesita más agua que la que tiene?
21. Producción anual de su producto
22. Rendimiento de los cultivos en años normales y secos
23. ¿Qué cultiva cuando hay año seco? ¿Reduce el área de cultivo?
24. ¿Tiene proyectos de expansión de los cultivos?

---

“Minería, Agricultura y Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo: Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales.”

25. ¿Utiliza subsidios de la ley de riego? ¿Cuándo ha utilizado?
26. ¿Otros subsidios?
27. ¿A qué mercados vende su producto, nacional o internacional? (por rubro)
28. ¿A qué entidad entrega su producción? ¿A qué precio?
29. ¿Cómo y en función de qué varían los precios en ambos mercados?
30. ¿Maneja fichas técnicas de sus cultivos, de aplicación de fertilizantes y pesticidas?
31. ¿Puede facilitarlas para este estudio?
32. ¿Cuánto retorno o utilidades tiene por hectárea de cultivo al año? (por rubro o como mejor lo sepa).
33. ¿Cómo percibe la administración de su canal? ¿Y la administración del río?
34. ¿En qué forma participa usted en la comunidad de aguas, asociación o junta correspondiente?
35. ¿Qué problemas importantes quisiera resaltar en cuanto a la administración?
36. ¿Cómo se distribuye el agua dentro de su canal?
37. ¿Es eficiente la distribución del agua dentro de su canal?
38. ¿Tiene tranques nocturnos de acumulación?
39. ¿Ha sabido de que haya problemas de contaminación en su entorno, en su canal, en el río? (minera, agrícola, industrial, doméstica, otra.)
40. ¿Qué problemas de contaminación le afectan directamente a Ud.?
41. ¿Cuántos empleados tiene contratados y temporeros?
42. ¿Cuántos hombres y cuantas mujeres?
43. Ciudad de residencia del personal (porcentaje)
44. ¿Cuáles son las principales necesidades y Problemas de la empresa?
45. ¿Qué importancia le da la empresa al tema medioambiental?
46. ¿Cómo es la relación de la empresa con los agricultores vecinos?
47. ¿Cómo es la relación con mineras cercanas?