



GOBIERNO DE CHILE  
**MINISTERIO DE MINERÍA**  
SUBSECRETARÍA DE MINERÍA



CONSEJO  
MINERO

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA  
CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA

# Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas



ACUERDO MARCO DE PRODUCCIÓN LIMPIA SECTOR GRAN MINERÍA  
BUENAS PRÁCTICAS Y GESTIÓN AMBIENTAL

*Noviembre 2002*



# Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera y Buenas Prácticas

*Chile*

ACUERDO MARCO DE PRODUCCIÓN LIMPIA SECTOR GRAN MINERÍA  
BUENAS PRÁCTICAS Y GESTIÓN AMBIENTAL

*Noviembre 2002*



# Indice

	<b>Introducción</b>	5
1.	<b>Antecedentes Generales</b>	6
1.1	Disponibilidad del recurso hídrico	6
1.2	Consumo de agua en minería	7
1.3	Otros consumidores	9
2.	<b>Administración Estatal del Recurso Hídrico</b>	12
2.1	Políticas	12
2.2	Marco legal y reglamentario	17
2.3	Organismos competentes	18
3.	<b>Gestión del Recurso Hídrico en Faenas Mineras</b>	20
3.1	Introducción	20
3.2	Modelo de gestión del recurso hídrico	23
3.3	Indicadores de eficiencia	25
4.	<b>Mejores Prácticas en el uso Eficiente del Recurso Hídrico</b>	27
4.1	Introducción	27
4.2	Manejo de fuentes	28
4.3	Extracción, transporte, almacenamiento y distribución	34
4.4	Reducción del consumo en operaciones	35
4.4.1	Plantas concentradoras	36
4.4.2	Plantas hidrometalúrgicas	44
4.4.3	Fundiciones y refinерías	46
4.4.4	Prácticas generales	51
4.5	Tratamiento de aguas residuales	52
4.6	Usos alternativos y disposición de excedentes	52
4.7	Monitoreos	57
4.8	Nuevas alternativas tecnológicas y de gestión del recurso hídrico	57
4.8.1	Nuevas tecnologías para optimizar el consumo del recurso hídrico	59
4.8.2	Nuevas tecnologías para aumentar los recursos hídricos disponibles	61
4.9	Conclusiones	63
5.	<b>Anexos</b>	64
5.1	Abreviaturas	66
5.2	Glosario	67
5.3	Resumen de legislación aplicable	73
5.4	Referencias	74



## Introducción

Hoy en día existe consenso que la actividad minera, así como otras actividades productivas que utilizan agua como insumo importante, ocasionan alteraciones en las fuentes naturales. Dichos impactos deben ser necesariamente controlados. Por otra parte, las actividades mineras constituyen una fuente de desarrollo y progreso; en consecuencia los impactos de sus actividades deben evaluarse considerando no sólo el control y mitigación de los efectos negativos, sino también potenciando el beneficio en las regiones en que se desarrolla como asimismo el crecimiento de la economía del país.

En la mayoría de las actividades productivas que usan agua, existe acuerdo sobre la necesidad de incorporar de manera integrada la gestión del recurso hídrico para asegurar su conservación, calidad y uso racional. Una empresa que no se preocupa de los impactos que genera en su área de influencia, pierde credibilidad y respeto ante las autoridades, la comunidad y el mercado, los cuales son cada vez más exigentes en la protección del medio ambiente. La industria minera está empeñada en demostrar que sus actividades son compatibles con el desarrollo sustentable y específicamente con la protección de vida silvestre, bosques nativos, biodiversidad y vida acuática, desarrollando sus operaciones en forma responsable para respetar y proteger su entorno.

El presente manual ha sido preparado como una herramienta práctica para orientar una gestión responsable respecto al recurso hídrico en una faena minera, que debe incorporar la variable ambiental desde la etapa de exploración o diseño, hasta el cierre y abandono de sus actividades. Tiene como objetivo complementar las mejores prácticas en cada faena para cumplir con la legislación vigente y mejorar su política ambiental.

Además, este documento responde a una de las materias del Acuerdo Marco de Producción Limpia firmado a fines del año 2000, entre el Consejo Minero y los Servicios Públicos competentes. El Acuerdo está dirigido a promover el mejoramiento de la productividad y competitividad de la industria minera, así como introducir las mejores prácticas de prevención de contaminación y producción limpia en áreas de interés mutuo, logrando una mayor coordinación entre los distintos organismos públicos regulatorios y fiscalizadores y las empresas del sector, en materias sanitarias y ambientales, tanto nacionales como internacionales.

La preparación de este Manual ha sido realizada por los miembros de la Comisión Mixta de Uso Eficiente de Agua pertenecientes a las empresas del Consejo Minero como de varios Organismos de Gobierno, a quienes se agradece sinceramente su importante colaboración.

# 1. Antecedentes Generales

## 1.1 DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

Se calcula que la Tierra dispone de alrededor de 38 millones de Km<sup>3</sup> de agua dulce, de los cuales:

- 29 millones de Km<sup>3</sup> se encuentran en estado sólido en los casquetes polares. Aún cuando son de difícil acceso, constituyen las grandes reservas de agua dulce en el mundo;
- 4 millones de Km<sup>3</sup> corresponden a aguas subterráneas; y
- 5 millones de Km<sup>3</sup>, a aguas superficiales. [1]

Como se observa, el recurso hídrico que pareciera abundante en un planeta cuyas tres cuartas partes están cubiertas por agua, es realmente escaso y debe ser aprovechado de la mejor forma, reduciendo tanto su consumo como las descargas, para satisfacer eficientemente todas las demandas y evitar su contaminación. La Figura 1 muestra la distribución de las aguas en el planeta.



Figura 1. Distribución y disponibilidad de las aguas en el planeta. [1]

La distribución del recurso hídrico en nuestro país es desigual debido, entre otros factores, a su gran longitud y variada geografía, lo cual repercute fuertemente en la disponibilidad del mismo, tanto en calidad como en cantidad. Según consta en el documento "Balance Hídrico de Chile" (1999), elaborado por la Dirección General de Aguas (DGA), la disponibilidad de agua desde la Región Metropolitana al norte, en general, es inferior a 1.000 m<sup>3</sup>/hab/año e incluso, en algunos sectores, alcanza a 500 m<sup>3</sup>/hab/año, umbrales considerados como restrictivos según los estándares internacionalmente aceptados de desarrollo económico (Figura 2).[2]

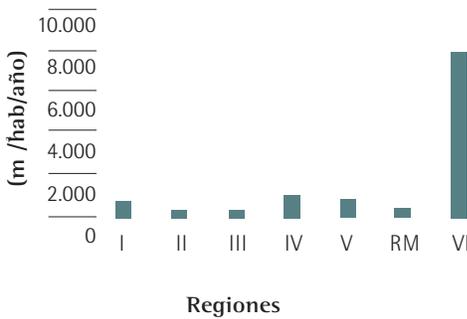


Figura 2. Disponibilidad de agua /habitante I a VI Región, DGA, 1999.  
Fuente: DGA

## 1.2 CONSUMO DE AGUA EN MINERÍA

La actividad minera, por su propia naturaleza, altera en forma significativa las características topográficas e hidrológicas de las áreas comprometidas: se mueven grandes volúmenes de material, se construye infraestructura vial, se instalan plantas de procesamiento y campamentos, tranques de relave, estanques y piscinas de almacenamiento de aguas y otras soluciones, se utilizan sustancias peligrosas para el beneficio de los minerales, el material removido es expuesto a condiciones

diferentes a las naturales y puede cambiar sus características químicas, generando soluciones contaminantes, etc.

Todas estas actividades, si no son gestionadas adecuadamente, pueden afectar las características físico - químicas de las escorrentías superficiales, napas subterráneas y otras fuentes de agua, con el consecuente impacto sobre los ecosistemas y el resto de los consumidores.

A principios de siglo XX, época en la cual la competencia por el recurso hídrico era mínima, las empresas mineras alcanzaban consumos de agua de hasta 3,0 m<sup>3</sup>/ton mineral tratado [3], sobretodo en procesos de molienda y flotación convencional de minerales de cobre. Más tarde, el incremento de la producción de cobre y los notables repuntes de la actividad agrícola e industrial, empezaron a crear competencia técnica y legal por el recurso hídrico.

La industria minera, entonces, empezó a buscar formas para obtener una máxima recirculación del agua utilizada, contemplando el uso de espesadores, para la recuperación de aguas de las colas y concentrados, y la instalación de sistemas de recirculación de aguas desde los embalses de relaves.

La posterior introducción de tecnologías para la lixiviación de minerales en pilas, ha contribuido también en la reducción global de los niveles de consumo de agua fresca para la minería nacional como se verá más adelante (ver tabla 2).

En la actualidad, como se observa en la Tabla 1 [4], las grandes empresas de la minería del cobre producen alrededor de un 94% del cobre fino nacional. Esta producción, que va en aumento, representa alrededor de un 35% de la producción mundial de cobre de mina y un 38,7% del total de las exportaciones chilenas [5], lo que implica:

- Un mayor consumo del recurso hídrico y una reducción de la disponibilidad del mismo para otros usuarios.
- Un uso racional y eficiente del agua con el fin de reducir el consumo por tonelada tratada y mantener niveles similares al consumo total actual a pesar del incremento de la producción.

La Figura 3, muestra la distribución del consumo de agua en la minería chilena al año 2000, según el tipo de proceso, donde se observa que las plantas concentradoras son las mayores consumidoras, seguidas por las plantas hidrometalúrgicas. Las fundiciones, refinerías y estimaciones para la minería no metálica (ítem Otros) presentan el menor porcentaje de consumo [6].

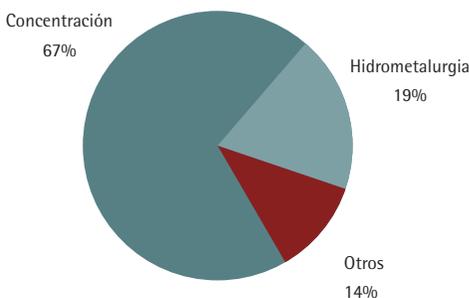
Empresas Mineras	Promedio Anual del Periodo 1999-2001	
	ton Cu Fino	%
Grandes	4.313.886	93,5
Medianas	252.971	5,5
Pequeñas	44.536	1,0
<b>Total</b>	<b>4.611.393</b>	<b>100,0</b>

Tabla 1. Producción de Cobre en Chile

Según estimaciones de la DGA, en el año 2000, el consumo hídrico en minería alcanzó los 1.238.356 m<sup>3</sup>/día. En base a esta información, en la Tabla 2 se han calculado los consumos promedio nacionales por proceso productivo, resultando un consumo de 0,75 m<sup>3</sup> por tonelada de mineral tratado y de 97,3 m<sup>3</sup> por kilo de cobre fino.

Planta	Mineral tratado tpd	Consumo de Agua m <sup>3</sup> /día	Consumo Unitario	
			m <sup>3</sup> /ton mineral	lt/ kg Cu fino
Concentradora	838.266	829.699	0,99	
Hidrometalúrgica	830.224	235.288	0,28	
Otros	---	173.369	0,10	
<b>Total</b>	<b>1.668.490</b>	<b>1.238.356</b>	<b>0,75</b>	<b>97,30</b>

Tabla 2. Consumos Promedio de Agua en la Minería Nacional por Mineral Tratado y por Producción de Cobre Fino [4] en el año 2000



Si bien el principal consumidor de recursos hídricos en el país es el riego (ver Tabla 3), la minería presenta una importancia relativa entre la I y III Región, y dadas las expectativas de crecimiento de la agricultura especialmente en la III Región, es indudable que en un futuro cercano se presentará una gran competencia por el uso del agua. Esto implicará el desarrollo de más y mejores innovaciones en los procesos mineros que permitan optimizar el uso del recurso hídrico en las faenas [6].

Figura 3. Distribución a nivel Nacional del Consumo de Agua en Minería según tipo de Proceso.

### 1.3 OTROS CONSUMIDORES

Durante la última década, Chile ha experimentado un sostenido crecimiento económico y social, generando cada vez mayores demandas sobre los recursos hídricos por parte de los distintos sectores consumidores.

Según la DGA, el uso del recurso en el país para el año 1999, alcanzaba un valor aproximado de 172.800.000 m<sup>3</sup>/día, de los cuales, aproximadamente el 68% corresponde a usos no consuntivos (usos para generación de energía hidroeléctrica) y el 32% a usos consuntivos.[2]

La Tabla 3 y la Figura 4 resumen la distribución de la demanda de agua en el país según su uso.

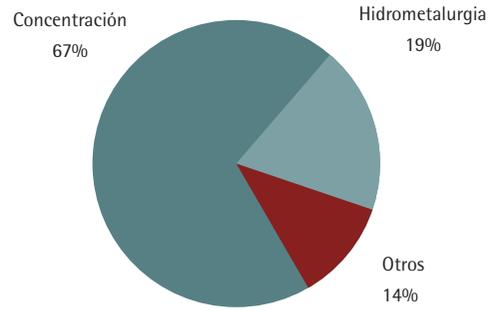


Figura 4. Distribución del Consumo de Agua Nacional para Usos Consuntivos.

Fuente: DGA. Política Nacional de Recursos Hídricos. 1999

Sector	Caudal, m <sup>3</sup> /día	Observaciones
Agrícola	47.001.600	Riego de cerca de dos millones de hectáreas, que se localizan casi completamente de la IX región al norte, estimándose que 1,3 millones de hectáreas tienen una seguridad de riego razonable.
Doméstico	2.505.600	La RM consume 50,4% del agua para satisfacer las necesidades del 40% de la población chilena. La cobertura promedio de agua potable a diciembre 2000 alcanza a 99,6% de la población.
Minero	2.505.600	Este consumo de agua se concentra principalmente desde la RM al norte, presentando un promedio de 0,75 m <sup>3</sup> /ton mineral tratado de cobre.
Industrial	3.628.800	La industria de la celulosa y el papel emplean alrededor del 30% del agua del sector, en tanto que la industria metalúrgica y la industria química utilizan el 30% y el 15% de ella, respectivamente. El resto del consumo corresponde a las industrias textiles, combustibles, lubricantes y alimenticias.
<b>Total</b>	<b>55.641.600</b>	
Energético	117.158.400	El uso del agua no consuntivo se localiza preferentemente entre las regiones VII y VIII. En este caso, el recurso se capta en un punto determinado, se utiliza y luego se libera en otro punto diferente, aguas abajo de la toma. Se estima que se necesitan 5,66 m <sup>3</sup>

Tabla 3. Demanda de Agua en Chile - DGA, 1999

Fuente: SISS, Cochilco, DGA

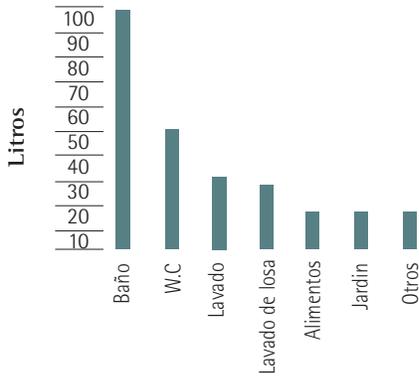


Figura 5. Distribución del consumo de agua personal en una ciudad grande.

A escala más reducida pero no menos significativa, el consumo de agua potable con fines domésticos a nivel regional varía entre 100 y 400 lt/hab/día, sin considerar la población rural dispersa estimada en 1.484.000 habitantes. Es importante señalar que en las ciudades normalmente se combinan los usos domésticos con los industriales, servicios públicos y otros, de modo que la tasa de consumo por habitante, índice normalmente utilizado para la estimación de esta demanda, no incluye sólo el consumo individual. En general, una persona que vive en una ciudad con un número superior a los 100.000 habitantes, gasta en promedio 250 lt al día, los que se distribuyen como se muestra en la Figura 5. [1]

En la Figura 6 se observa un gráfico comparativo de la demanda y gasto de agua aproximado para producir 1 kg de algunos de los productos más comunes en la industria; la producción de un kilo de cobre en Chile consume alrededor de 100 lt, como se explicó anteriormente. Productos como la fibra sintética, que exceden los 5.000 lt/kg, y otros como el cemento y el petróleo, con 3,5 y 10 lt/kg respectivamente, no están presentes en el gráfico debido a consideraciones de escala.

Cabe señalar que los valores presentados corresponden al consumo propio del proceso o

actividad y no considera los consumos para generar las materias primas del mismo, como por ejemplo, el pan, que presenta una demanda y gasto inferior al trigo a partir del cual se produce.

CONSUMO DE AGUA PARA DIFERENTES PRODUCTOS

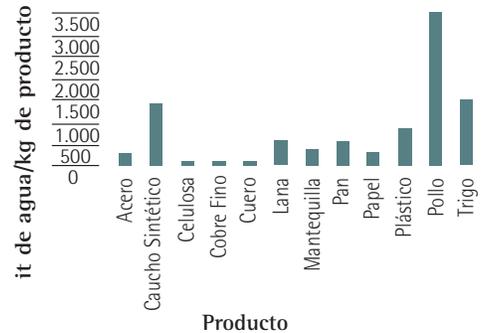


Figura 6. Demanda y Gasto de Agua para Producir un kilo de cada Producto.

A partir de los antecedentes presentados, es posible concluir que el recurso hídrico es un bien escaso e indispensable en todas las actividades que realiza el ser humano, incluyendo la necesaria para su propia subsistencia como organismo vivo, por lo que se evidencia la necesidad de poner en vigor una administración ambiental que optimice su consumo y que controle los impactos negativos de las actividades productivas con una visión proactiva.

El análisis de los recursos disponibles, los consumos globales de agua en el país y las proyecciones realizadas en el mediano y largo plazo son particulares para cada región. Según consta en el Informe de Tecnologías Eficientes en Uso del Agua en Minería (JRI, 2001), en regiones como la I, IV, V, RM y VI, que corresponden a zonas de abundancia de agua con respecto a los consumos emergentes, la alternativa más llamativa es la optimización de los consumos a través de buenas prácticas y la introducción de mejores tecnologías. En cambio,

en las regiones II y III, donde existe una alta competencia por el recurso entre los diversos sectores productivos y una escasez evidente del mismo, no sólo es necesario optimizar el consumo, sino que es indispensable buscar alternativas que permitan generar nuevos recursos. [6]

La Gran Minería influye directa e indirectamente en el desarrollo de las regiones. Un ejemplo de influencia indirecta es la construcción de una nueva fuente de agua potable en la II Región: una moderna planta desalinizadora, la primera de gran capacidad, cuya inversión asciende a los US\$54 millones y que comenzará a operar en diciembre del 2002 (Ver Figura 7).

Este proyecto produce agua potable a través de osmosis inversa y ha sido posible tanto por el desarrollo económico de la región como por la baja en los precios de la energía eléctrica.

La planta producirá 13.000 m<sup>3</sup>/día en su fase inicial, alcanzando los 52.000 m<sup>3</sup>/día una vez que se complete el total del proyecto, cifra que representa el 75% del consumo de agua potable de la ciudad de Antofagasta.[7],[8].

Como conclusión, podemos destacar que el sector minero es un actor relevante dentro de la economía nacional; representa el 44.4% del total de las exportaciones nacionales, genera empleo directo para 73.000 personas [5] y ha liderado los temas de seguridad y medio ambiente desde antes que tuviesen carácter de obligatorio desde el punto de vista legal.

Por esta razón, entre otras, sus acciones están orientadas a mejorar continuamente sus niveles de consumo y de gestión del recurso hídrico.



Figura 7. Planta desalinizadora de agua de mar, en construcción en el barrio La Chimba,

## 2. Administración Estatal del Recurso Hídrico

### 2.1 POLÍTICAS

#### a) Política Ambiental del Gobierno de Chile

La Política Ambiental del Gobierno de Chile promueve la sustentabilidad, declarando sus fundamentos, sus principios y sus objetivos, así como fijando sus compromisos y las tareas ambientales prioritarias para el perfeccionamiento del sistema.

Los fundamentos de la Política Ambiental son:

- La calidad de vida de las personas, cuyo mejoramiento sostenido y equitativo no debe comprometer las expectativas de las generaciones futuras.
- La complementariedad entre desarrollo socioeconómico y sustentabilidad ambiental: es necesario cambiar el enfoque de contradicción entre economía y medio ambiente, de modo de garantizar la disponibilidad de recursos necesarios -en cantidad y calidad- para el desarrollo.
- La equidad social y la superación de la pobreza. La pobreza es un factor limitante y crítico del desarrollo y no es casual que los sectores más pobres sean los que sufren las peores condiciones de calidad de vida y los más agredidos por la contaminación. Todos los ciudadanos tienen derecho a vivir en un entorno limpio y sano.

Los principios que inspiran la Política Ambiental del Gobierno son diez:

- Políticas públicas ambientalmente sustentables: Se involucra transversalmente a todos los sectores.
- Roles del Estado y de los privados: Los privados, motor del proceso productivo, deben utilizar las mejores tecnologías disponibles y las mejores prácticas ambientales. El Estado debe proteger el bien común y los derechos ciudadanos con un servicio eficiente y oportuno que fomente, regule y fiscalice.
- Participación ciudadana: Respalda la gestión ambiental, así como permite reconocer las legítimas diferencias entre las partes, de modo de buscar acuerdos y consensos.
- Sustentabilidad: Busca respetar los límites físicos al uso de recursos renovables y no renovables. Se incorpora el concepto de equidad intergeneracional.
- Responsabilidad del causante: Los responsables de la degradación ambiental deben reparar el daño sufrido y restaurar el componente ambiental deteriorado. El que contamina paga.
- Prevención: Busca evitar los daños ya que la recuperación es más costosa y menos eficaz.
- Estabilidad: Una normativa jurídica ambiental basada en reglas claras, coherentes y sostenidas en el tiempo, para dar confianza a los diferentes actores.
- Gradualismo y mejoramiento continuo: Revertir el deterioro ambiental, provocado en las últimas décadas es una tarea que sólo puede realizarse en forma gradual. La sustentabilidad ambiental sólo se logra a través de esfuerzos continuos y mejoras incrementales.
- Perfeccionamiento del sistema: Para consolidar el modelo de gestión ambiental, se reconoce la necesidad de perfeccionar la legislación y la institucionalidad.
- Responsabilidad ante la comunidad internacional: Cumplir con los acuerdos internacionales de medio ambiente que se suscriban.

## Objetivos

El objetivo general de la Política Ambiental del Gobierno es promover la sustentabilidad ambiental del proceso de desarrollo

Sus objetivos específicos son:

- Recuperar y mejorar la calidad ambiental, en una calidad compatible con la salud de las personas y de los ecosistemas. Los principales instrumentos para este objetivo son las normas de calidad ambiental, los Planes de Descontaminación y las Políticas Ambientales específicas.
- Prevenir el deterioro ambiental: Los principales instrumentos son el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, la incorporación de la dimensión ambiental en las políticas públicas, la educación ambiental, las normas de calidad y emisión, los planes de prevención y la investigación científico-tecnológica.
- Fomentar la protección del patrimonio ambiental y el uso sustentable de los recursos naturales: Los instrumentos son el marco regulatorio de la ley, las medidas de conservación, el manejo sustentable del territorio y el estudio de los ecosistemas.
- Introducir consideraciones ambientales en el sector productivo: Implementar procedimientos de certificación y fomento para asegurar la producción limpia y con ello contribuir a su mejor inserción en los mercados internacionales.

- Involucrar a la ciudadanía en la gestión ambiental: Ampliar instancias de participación de acuerdo a lo establecido en la ley 19.300

y generar programas para estimular la co-responsabilidad en el cuidado del medio ambiente.

- Fortalecer la institucionalidad ambiental a nivel nacional y regional, reforzándola para lograr la plena aplicación del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, potenciando la dimensión regional.
- Perfeccionar la legislación ambiental y desarrollar nuevos instrumentos de gestión, logrando un cuerpo normativo integrador, coherente y eficaz.

## b) Política Nacional de Aguas

### Antecedentes previos

El uso del agua en el país para fines consuntivos alcanza un caudal continuo aproximado de 650 m<sup>3</sup>/s de los cuales el riego representa el 84,5%, el uso doméstico equivale al 4,4% y los usos mineros e industriales representan el 11%. A nivel regional se observan importantes variaciones dado que hay regiones donde compiten equilibradamente los distintos usos. A su vez la disponibilidad de agua por habitante desde la Región Metropolitana (RM) al norte es muy baja, por lo general es inferior a 1000 m<sup>3</sup>/hab/año, e inclusive en algunas regiones alcanza a 500 m<sup>3</sup>/hab/año, umbrales considerados internacionalmente como altamente restrictivos para el desarrollo económico de los países.

En este contexto, las demandas de agua existentes significan una gran presión sobre los recursos hídricos, de hecho desde la RM al norte las demandas superan el caudal disponible en la entrada de los valles, situación que sólo se explica por el reuso reiterado de los recursos de agua a lo largo del curso de los valles (hasta 4 veces). En el futuro, este escenario ya extraordinariamente restrictivo se acentuará notablemente debido a los nuevos requerimientos; las proyecciones

de las demandas efectuadas (1992 -2017) indican que los requerimientos para los usos domésticos, mineros e industriales aproximadamente se duplicarán. El uso agrícola del agua se estima que puede crecer en aproximadamente un 20%. Por su parte, la proyección de los usos hidroeléctricos con la entrada del gas natural al mercado energético resulta incierta, pero las estimaciones iniciales entregaban crecimientos elevados, de hasta 10 veces.

La gestión de los recursos hídricos esencialmente debe orientarse a compatibilizar la satisfacción de las necesidades para el desarrollo y el requerimiento hídrico para fines ambientales, para la protección de los ecosistemas y de los valores paisajísticos y turísticos, y también resolver la situación existente relativa a la contaminación hídrica. La satisfacción de las crecientes necesidades debe propender a impulsar como primera medida la eficiencia en la utilización del recurso en los distintos usos; dentro de la búsqueda de nuevas fuentes para el abastecimiento de las demandas se debe considerar el análisis, especialmente en zonas áridas y semiáridas, de la potencialidad de los recursos aprovechables en cuencas cerradas sin dejar de considerar los requerimientos para la preservación de ecosistemas y valores paisajísticos y turísticos. Lo anterior conlleva la obtención de un adecuado conocimiento sobre el recurso hídrico en todas las fases que conforman su ciclo.

Los principales problemas de contaminación que es necesario resolver y cuya solución compromete la gestión de los recursos hídricos del país corresponden a la contaminación por aguas servidas domésticas; contaminación por efluentes mineros y residuos industriales líquidos y contaminación agrícola y difusa de aguas subterráneas. Por otra parte la gestión del recurso se enfrenta a elementos de incertidumbre en relación con su disponibilidad futura como consecuencia de la variabilidad

climática, particularmente por la localización de gran parte del país en una zona de transición climática por lo que es esperable que presente una especial sensibilidad a un cambio climático global.

#### Principios fundamentales de la Política Nacional de Aguas

- El agua está definida legalmente como un Bien Nacional de Uso Público, considerando que resulta esencial para la vida de sus habitantes, para el desarrollo económico - social de la Nación y el medio ambiente. Como tal corresponde al Estado asumir una tutela especial sobre las mismas, a través de las normas regulatorias que garanticen que el aprovechamiento de este recurso se efectúe en beneficio del desarrollo nacional y de la Sociedad en su conjunto.
- El aprovechamiento del recurso debe realizarse de forma sustentable y asegurando la protección del medio ambiente asociado.
- El agua es un bien económico y como tal el sistema jurídico y económico que regula su uso debe propender a que sea utilizado eficientemente por los particulares y la Sociedad. Por ello, son aplicables a los recursos hídricos los principios de la economía de mercado, con las adaptaciones y correcciones que exigen las particularidades de los procesos hidrológicos y la naturaleza de dicho recurso natural.
- La política de aguas debe propender a la participación de los usuarios, de las organizaciones sociales y del ciudadano común en la gestión del recurso hídrico, reflejando de ese modo el carácter de bien social, económico, ambiental y cultural de los recursos hídricos; contribuyendo con ello al proceso de profundización democrática en la Sociedad.

- La política de aguas debe reconocer la complejidad y especificidad de los procesos hidrológicos, por lo cual sus proposiciones deben estar sólidamente basadas en el conocimiento científico técnico de los mismos.

#### Objetivos de la Política Nacional de Aguas

- Asegurar, en lo relativo a la disponibilidad de agua, el abastecimiento de las necesidades básicas de la población.
- Mejorar la eficiencia de uso, a nivel de la cuenca hidrográfica, en un marco de factibilidad económica, considerando su condición de bien escaso en gran parte del territorio.
- Lograr la localización del recurso hídrico en aquellas demandas que presentan el mayor beneficio económico, social y medio ambiental para el país.
- Maximizar el aporte de los recursos hídricos al crecimiento del país, a través del desarrollo de las fuentes no utilizadas y del reuso.
- Disminuir el impacto de la variabilidad hidrológica en la actividad del país.
- Recuperar el pasivo ambiental existente y asegurar el desarrollo de los Recursos Hídricos sin que ello signifique un deterioro para el medio.
- Minimizar los niveles de conflicto relacionados con el agua y contribuir de ese modo a la paz social.

#### c) Políticas ambientales sectoriales

##### i) Ministerio de Minería

##### Antecedentes previos

El sector minero representa aproximadamente el 50% de las exportaciones del país y el 8% del producto interno bruto, no obstante el esfuerzo

de fomento realizado por el Gobierno en orden a diversificar sus exportaciones y a aumentar su valor agregado. En una perspectiva de largo plazo la minería nacional continuará siendo uno de los principales actores de la actividad minera mundial. Es por ello que el desarrollo futuro de este sector precisa de realizarse de una forma sustentable, es decir, crecer pero con una adecuada protección por el medio ambiente y en un marco de equidad social, cambiando el enfoque tradicional del negocio minero a un enfoque sustentable.

La política ambiental minera apunta, en primer lugar, a que el proceso de desarrollo chileno compatibilice el crecimiento económico con la equidad social y la preservación del medio ambiente. En segundo lugar, se orienta a que la dimensión ambiental se incorpore gradualmente a la actividad minera, y ésta internalice los costos ambientales de sus procesos. Finalmente, el gobierno debe desempeñar un rol importante en esta materia, tal como lo ha estado haciendo a la fecha, ya que el mercado por sí solo difícilmente podrá resolver las crecientes demandas ambientales de la población.

La política ambiental minera, más que una política de Gobierno se trata de una política de Estado, requiriéndose el acuerdo y consenso de diferentes sectores con disímiles intereses. Se trata de materias que deben ser abordadas en forma interdisciplinaria, analizándolas más allá desde la dimensión de la contaminación o desde una perspectiva de procesos con tecnologías limpias o control de emisiones. Medio ambiente es mucho más que contaminación, ya que tiene que ver con el manejo de recursos naturales renovables y no renovables, con las ciencias sociales, los temas territoriales, legales y culturales que enriquecen el tema y hacen necesario un trabajo mancomunado en equipo con un lenguaje común.

Esta política ambiental entregará los lineamientos para futuros programas y planes, a través de los cuales se desarrollará sustentablemente el sector minero nacional, de forma que en el futuro podamos determinar objetivamente el desempeño minero ambiental de nuestra nación.

### **Política Ambiental Minera**

El Ministerio de Minería como órgano responsable del Estado para generar las condiciones que estimulen un desarrollo minero sustentable en nuestro país, tal que permita compatibilizar el crecimiento de este sector, con equidad social y una adecuada protección ambiental, se compromete a difundir y asumir los siguientes principios y prácticas:

- Promover el desarrollo sustentable del sector minero nacional, a fin de fomentar una empresa minera eficaz y eficiente, tanto desde la perspectiva de negocios como ambiental.
- Impulsar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente cuando ésta exista, y en ausencia de la misma, promover una operación minera responsable y respetuosa del medio ambiente.
- Fomentar el desarrollo regulatorio ambiental del sector minero acorde a las singularidades propias de esta actividad
- Promover el concepto de autorregulación en el sector minero, a fin de comprometer tanto a la empresa como al gobierno, en el éxito de la gestión ambiental minera nacional.
- Fomentar la incorporación de la variable ambiental en la gestión estratégica de la empresa minera, desde la etapa de exploración hasta la etapa de cierre de la faena.
- Crear las condiciones adecuadas que fomenten una producción minera ambientalmente

limpia, previniendo la contaminación en el origen, reciclando y reutilizando sus excedentes, de forma de generar nuevas oportunidades de negocios para el sector minero.

- Incentivar la generación de programas de investigación científica y tecnológica para sentar las bases de un desarrollo minero sustentable.
- Fomentar las condiciones para una participación conjunta de los distintos actores de la sociedad en el desarrollo de las diversas acciones del Gobierno en la temática minera ambiental.
- Crear las condiciones para que el sector minero lidere la temática ambiental en el concierto productivo y económico nacional, integrando la gestión ambiental como una componente esencial del negocio minero.
- Sentar las bases para una participación activa del sector minero nacional en el ámbito internacional, con relación a materias de minería y medio ambiente, de forma de asegurar una presencia internacional activa en esta temática.
- Responsabilidad ante la naturaleza y comunidad: Asumimos la responsabilidad de evaluar y controlar el desempeño ambiental de todas las faenas mineras existentes y futuras. En el caso de las faenas mineras abandonadas, asumimos la responsabilidad de evaluar el impacto ambiental y cuando sea posible realizar su restauración a fin de mitigar el impacto ambiental de éstas

## 2.2 MARCO LEGAL Y REGLAMENTARIO

Dentro del marco del presente documento las disposiciones legales vigentes hacen referencia al uso y aprovechamiento del agua, todas aquellas disposiciones relativas al vertido o

disposición de efluentes de cualquier naturaleza no corresponde abordarlos dentro de esta parte.

En primer lugar en la Constitución Política de la República de Chile, establece una disposición básica en su artículo 8, la que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación; siendo deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y buscar la preservación de la naturaleza. En este marco se establece que la ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.

Por su parte el artículo 19 número 24 de la Constitución Política del Estado, consagra el concepto de función ambiental de la propiedad que consiste en restarle al derecho de dominio los caracteres de derecho absoluto, de modo que el propietario en el ejercicio de su derecho debe respetar la dimensión ambiental.

En materia de ley el Código de Aguas es el instrumento que regula el aprovechamiento del recurso hídrico a través del otorgamiento de derechos de aguas y de otras autorizaciones para su ejercicio; estableciendo además las normas para la organización de los usuarios y la administración y vigilancia del recurso. Siendo las aguas bienes nacionales de uso público se constituyen los derechos de aprovechamiento en fuentes naturales; estos son derechos reales, es decir pasan a integrar el patrimonio del interesado, por cuanto permiten usar y gozar y disponer de ellas. Los derechos de aprovechamiento se constituyen sobre aguas terrestres, ya sea superficiales o subterráneas, de carácter consuntivo, no consuntivo; de ejercicio continuo, discontinuo y alternado y de tipo permanente o eventual. En el caso de aguas subterráneas existen limitaciones a la exploración y explotación en aquellos acuíferos que alimentan las denominadas vegas y bofedales de las Regiones I y II.

La constitución de derechos de aguas se efectúa sobre la base de la existencia de disponibilidad del recurso y verificando no afectar derechos de terceros. El derecho se constituye independiente del uso y a perpetuidad y no implica en la práctica costo al interesado. Adicionalmente se cuenta con las Normas de exploración y explotación de aguas subterráneas y el Manual de normas y procedimientos de la DGA.

Desde el punto de vista ambiental, a pesar de que el derecho de aprovechamiento de aguas no es un permiso ambiental, el ejercicio de este puede requerir de permisos ambientales si las obras proyectadas se encuentran en la tipología establecida por la ley de bases del medio ambiente. En el caso de requerirse un estudio de impacto ambiental puede introducirse modificaciones al proyecto original o exigencias específicas orientadas a cautelar la protección y sustentabilidad de los recursos utilizados, en particular el recurso hídrico.

Por su parte el Código Sanitario en su articulado específico introduce disposiciones que regulan la actividad minera en el sentido de prohibir su desarrollo en zonas donde se hubieren alumbrado aguas subterráneas en terrenos particulares o en lugares que pudieran afectar el caudal o su calidad natural.

En materia de protección y explotación de terrenos públicos y privados calificados de aptitud preferentemente forestal la ley de Bosques establece los permisos y concesión en el caso de predios públicos, que son aplicables para cualquier proyecto minero a instalarse sobre este tipo de suelo, o que requiera de la corta de árboles y arbustos nativos situados a menos de 400 metros sobre los manantiales que nazcan en los cerros y los situados a menos de 200 metros de sus orillas desde el punto en que la vertiente tiene su origen hasta aquel en que llegue al plano; o la corta de arbolado situado a menos de 200 metros de radio de los

manantiales que nacen en terrenos planos, no regados; o de árboles y arbustos nativos situados en pendientes superiores a 45%.

Además existen disposiciones, de carácter sectorial, que tiene como objeto proteger las aguas para uso en agricultura y la salud de los habitantes.

### 2.3 ORGANISMOS COMPETENTES

Dentro del tema la regulación del recurso en el marco del presente documento hace alusión a aspectos de asignación del recurso y administración en materia de su aprovechamiento, los aspectos de calidad de aguas o vertidos se analiza en otros documentos relativos a residuos industriales líquidos.

En este marco, los organismos competentes en la materia son:

- a) Dirección General de Aguas: organismo rector en materia de recursos hídricos, encargado de planificar el recurso, investigar y mediar, asignar los derechos de aprovechamiento y entregar otras autorizaciones sobre el particular; ejercer la policía y vigilancia de las aguas y supervigilar el funcionamiento de las organizaciones de usuarios.
- b) Comisión Nacional del Medio Ambiente: A través de la ley 19.300 en materia de autorizaciones ambientales tiene incidencia en el ejercicio de los derechos de aprovechamiento al momento de desarrollar proyectos que involucren su utilización o afecten a fuentes naturales.
- c) Superintendencia de Servicios Sanitarios: Dentro de sus facultades se encuentra la aprobación de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias, los cuales involucran la identificación de los recursos necesarios para lograr el abastecimiento de las demandas.

- d) Servicio de Salud: a quien corresponde otorgar la autorización para ejecutar labores mineras en lugares en donde se hubieren alumbrado aguas subterráneas, en terrenos particulares, ni en aquellos lugares cuya explotación pueda afectar el caudal o la calidad natural del agua, y fijar las condiciones de seguridad y el área de protección de la fuente o caudal correspondiente.
- e) Corporación Nacional Forestal: en el caso de la aplicación de la ley de Bosques en materia de autorización de planes de manejo y el Ministerio de Bienes Nacionales, en el caso de concesión de predios públicos relacionados con esta materia.
- f) Servicio Agrícola y Ganadero: en materia de protección de aguas para su uso en la agricultura y la salud de los habitantes.

## 3. Gestión del Recurso Hídrico en Faenas Mineras

### 3.1 INTRODUCCIÓN

La escasez del recurso hídrico y su creciente demanda en los diversos sectores productivos y en la comunidad, ha motivado a las empresas mineras considerar como parte de su política, objetivos y metas de gestión ambiental, temas como la disminución del consumo, el uso eficiente del recurso y el manejo responsable de los acuíferos y ecosistemas a partir de los cuales se abastece.

Estándares reconocidos, certificados por organismos independientes y basados en normas internacionales, forman parte de los mecanismos que las empresas del sector minero utilizan para mejorar continuamente su desempeño ambiental y demostrar su cumplimiento con el marco regulatorio aplicable.

El objetivo fundamental de implementar sistemas de gestión consistentes, es garantizar que las actividades que serán ejecutadas han sido cuidadosamente planificadas y que cualquier desviación con respecto a los resultados planificados será detectada oportunamente, corregida y considerada en las planificaciones futuras. El ciclo PERC (Planificar, Ejecutar, Revisar, Corregir) que se ilustra en la Figura 8, es un esquema simplificado de la función que cumplen los sistemas de gestión en una empresa con miras al mejoramiento continuo.

La responsabilidad de la gestión del recurso hídrico recae en todos los miembros de la empresa, de acuerdo a los diferentes niveles y funciones que realizan, siendo responsabilidad de la alta gerencia, el velar por el cumplimiento de los valores y principios establecidos en sus políticas de gestión (ambiental, de seguridad, integrada, etc.).

En general, las Políticas Ambientales de las empresas socias del Consejo Minero, concuerdan en el fomento del uso racional de los recursos y la prevención de la contaminación, lo cual representa un punto de partida y proporciona el marco de trabajo necesario para la gestión y uso eficiente del agua.

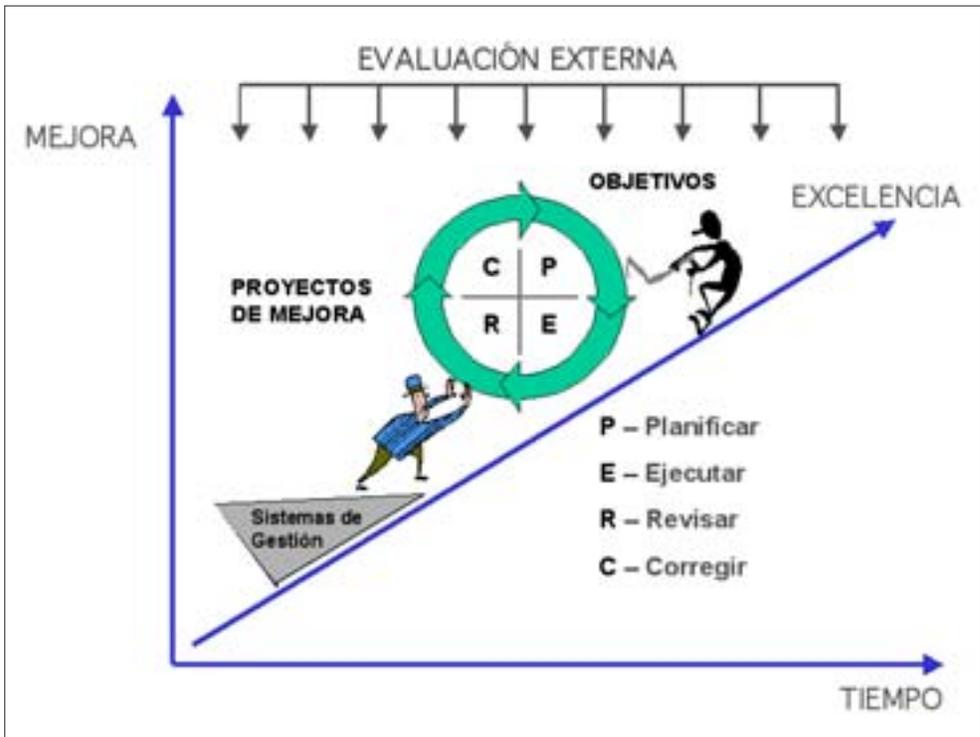


Figura 8. Ciclo PERC para la Mejora Continua.

En la Figura 9 se muestran las diferentes etapas del desarrollo de un proyecto minero y las actividades más relevantes para el manejo sustentable del recurso hídrico. La administración

responsable de este recurso, debe comenzar durante la etapa de exploración y continuar hasta las etapas de cierre y abandono.

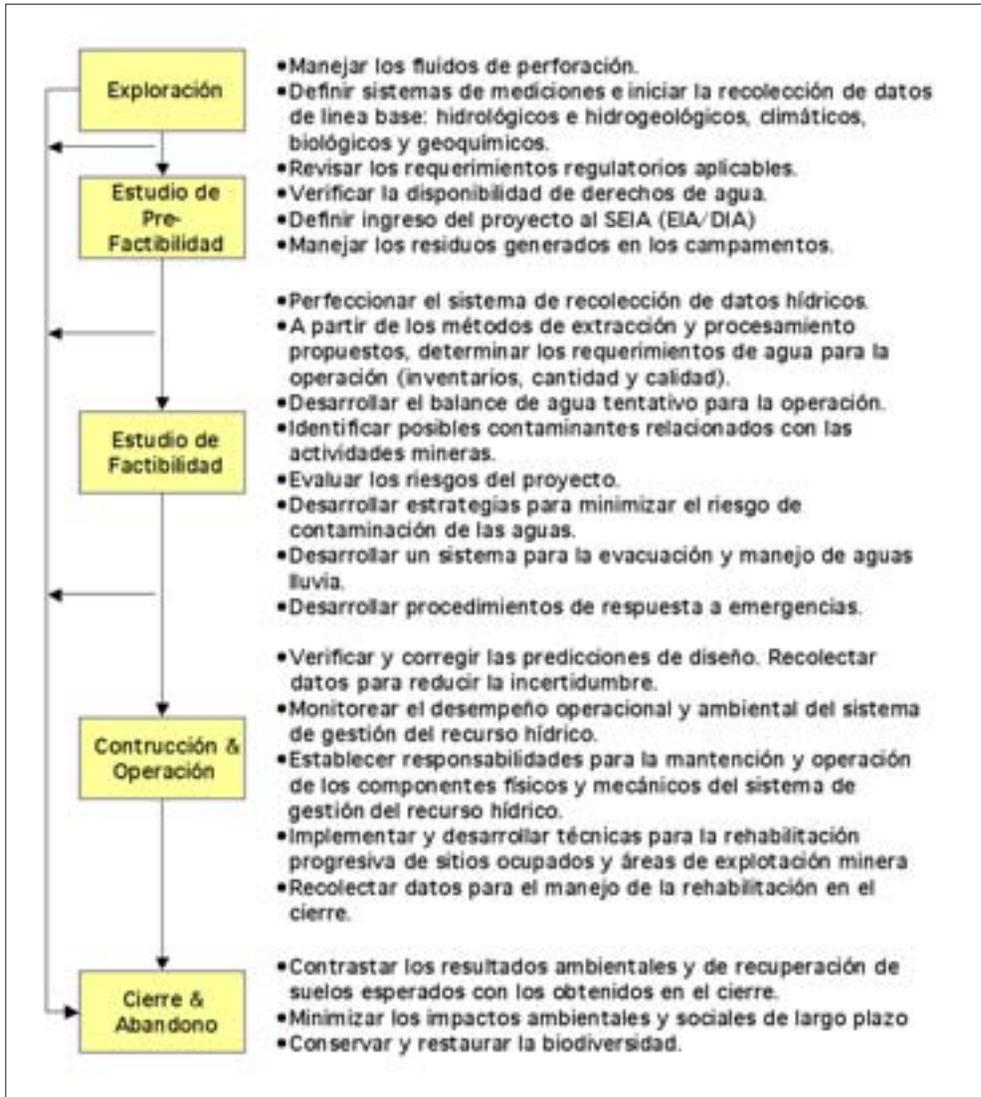


Figura 9. Principales Actividades en el Manejo del Agua durante el Desarrollo de un Proyecto Minero

### 3.2 MODELO DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

La inclusión de compromisos y objetivos explícitos, asociados a metas de reducción del consumo y de uso eficiente del recurso, es una práctica que permite establecer niveles y pautas de acciones claras, definir las responsabilidades asociadas y disponer de los recursos necesarios (humanos, tecnológicos y financieros), para fomentar el desarrollo de los proyectos de mejora continua bajo el amparo de los principios y valores que la compañía declara como propios en su Política.

La Figura 10, muestra un modelo aplicable a la gestión del recurso hídrico, que sigue los pasos de la Norma ISO 14001 ampliamente conocida en la industria y de aplicación en todo tipo de actividades.

Es necesario conocer en qué situación se encuentra el recurso hídrico dentro y fuera de la empresa, estableciendo indicadores que permitan medir objetivamente la eficiencia de su uso en el tiempo.

También es importante determinar la normativa legal aplicable y conocer las expectativas de los otros consumidores de la zona, incluida la comunidad, con el objeto de conocer los riesgos y orientar adecuadamente los objetivos y metas de la empresa en esta materia.

Para asegurar el éxito del sistema de gestión del recurso hídrico se requiere manejar en forma integrada y coordinada los siguientes elementos:

- Una estructura organizacional sólida con responsabilidades bien definidas.

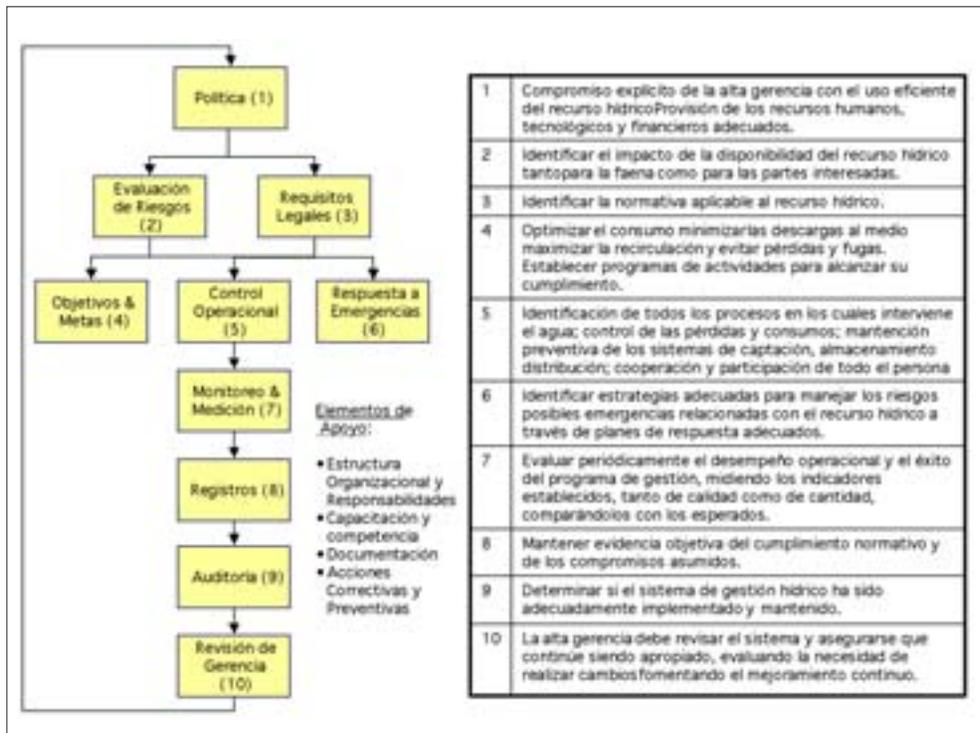


Figura 10. Gestión del Recurso Hídrico de acuerdo al modelo ISO14.001.

- Procesos unitarios evaluados desde el punto de vista del recurso hídrico, con entradas y salidas conocidas y controladas (Balance hídrico).
- Manejo y control adecuado de los derechos de agua disponibles, llevando un catastro actualizado de los derechos empleados, sus compensaciones y/o restituciones, si corresponde (derechos consuntivos y no consuntivos).
- Personal consciente de lo valioso que es el recurso hídrico, capacitado y competente para desempeñar sus labores normales y actuar en caso de emergencias de acuerdo a procedimientos establecidos, en los cuales se han identificado las acciones a seguir ante eventuales dificultades en el control operacional de las variables involucradas en el uso eficiente del recurso.
- Comunicación fluida y permanente entre los diversos niveles internos de la organización y entre la organización y el resto de las partes interesadas.
- Documentación adecuada, actualizada y disponible en los puntos de uso.
- En aquellas actividades identificadas como claves se requiere de controles específicos para controlar los caudales y la calidad establecida para el agua (indicadores).

El sistema de gestión del recurso hídrico debe ser permanentemente evaluado y revisado para establecer su conformidad con la política, los objetivos y metas establecidos. A medida que se implementan las acciones necesarias para alcanzar los objetivos y las metas, es preciso monitorear los indicadores, haciendo un seguimiento de su evolución.

El monitoreo debe incluir, además, las variables correspondientes a la calidad del recurso empleado en las diversas etapas y de los

efluentes que son descargados. Estas mediciones deben ser contrastadas con la normativa aplicable o con estándares de referencia, cuando dicha normativa no exista. La información así obtenida y evaluada, servirá para revisar y corregir el sistema implementado, como se explicó en la Figura 8, Mejora Continua en la Empresa. Si los resultados de las mediciones arrojan desviaciones con respecto a lo planificado, se debe establecer un plan de acción que permita corregir esta situación y alcanzar los valores requeridos y/o esperados. Al tomar esta información como nuevo punto de partida o de referencia, es posible establecer nuevos objetivos y metas que permitan mejorar el desempeño ambiental de la empresa. Este ciclo se repite permanentemente, bajo la premisa de "Hoy mejor que ayer pero peor que mañana".

La empresa debe mantener registros actualizados de las mediciones realizadas con el fin de:

- Hacer un seguimiento de los resultados obtenidos y las acciones implementadas.
- Realizar evaluaciones periódicas del comportamiento del sistema de gestión del recurso hídrico, para tomar las medidas preventivas y correctivas en el momento más adecuado.
- Demostrar su compromiso con el uso eficiente del recurso y sustento legal del mismo. Verificar que las extracciones de agua se realizan de acuerdo a la naturaleza de los derechos disponibles (datos auditables por la autoridad competente).

La gestión del recurso hídrico también debe ser auditada interna y externamente, con el fin de identificar cualquier desviación y solucionarla.

La revisión de la gerencia es la herramienta más poderosa del mejoramiento continuo, cada vez que el sistema de gestión se revisa, se verifica su conformidad con los requerimientos

que la empresa se ha fijado y se adecua a las nuevas condiciones que ésta enfrenta. El sistema de gestión del recurso hídrico debe ser, dadas las condiciones de disponibilidad y demanda (Capítulo 1), un sistema en permanente cambio cuyas metas, una vez alcanzadas, sirven de línea base para establecer nuevos objetivos, dependiendo de las circunstancias, de la tecnología disponible, del marco legal vigente y la disponibilidad del recurso.

### 3.3 INDICADORES DE EFICIENCIA

Considerando el beneficio de minerales como una gran caja negra, se observa que los requerimientos globales de agua fresca son, por lo general, muy inferiores a la suma de los consumos reales por etapa del proceso. Esto se debe a que los excedentes de agua de una parte pueden ser transformados a fuente

- Las pérdidas como evaporación, fugas, filtraciones, humedad de los residuos y agua contenida en las soluciones de descarte si hubieran;
- Los usos de la faena, como consumo humano, riego de caminos, humedad del producto y otras actividades que utilizan agua como materia prima y de las cuales no es posible recuperarla (perforación, supresión de polvo, etc.).
- Las descargas del sistema, cuya necesidad de tratamiento dependerá del uso al que se les destine y del proceso que las genera. Dentro del proceso productivo, el transporte de pulpas y/o relaves a gran distancia es una de las actividades que genera una cantidad importante de descargas, debido en gran medida a la dificultad natural de recircular las aguas al resto del proceso.

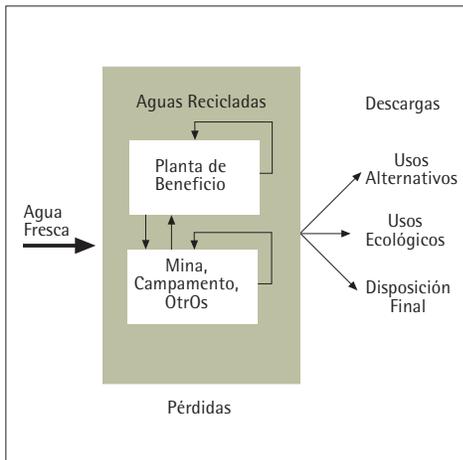


Figura 11. Balance de Aguas

de abastecimiento de otra etapa, previas consideraciones a la cantidad, calidad, distancia y características de la conducción del recurso y relación costo - beneficio de su reutilización (Ver Figura 11).

El agua fresca que ingresa a los procesos compensa:

Como se observa en la Figura 11, los excedentes de agua pueden ser reutilizados dentro de un mismo proceso, en etapas diferentes, o enviadas desde y hacia procesos distintos, de acuerdo a los requerimientos de calidad y cantidad de cada uno de ellos. En ambos casos, se produce un ahorro importante por efecto de la optimización del uso del recurso y la reducción en los volúmenes de aguas que deben ser tratadas previo a su descarga.

Con respecto a las descargas del sistema o caja negra, se establecen 3 grandes grupos:

- Usos Alternativos: en los cuales los excedentes del sistema serán utilizados e irán en directo beneficio de otros consumidores, por ejemplo, regantes, industrias, etc.
- Usos Ecológicos: en los cuales los excedentes del sistema serán utilizados e irán en directo beneficio del medio ambiente, por ejemplo, forestaciones.

- Disposición Final: en los cuales los excedentes del sistema no serán utilizados sino que descargados al medio, previo tratamiento sin beneficio aparente.

Para efectos de este documento el proceso en las plantas contempla:

- Plantas Concentradoras: desde el chancado hasta la obtención del concentrado, incluyendo la disposición final de los relaves.
- Plantas Hidrometalúrgicas: desde el chancado hasta la electro-obtención, incluyendo el descarte de riosos.
- Fundiciones: desde la recepción del concentrado hasta la refinación.

A partir de estos conceptos es posible establecer indicadores de eficiencia como los siguientes, cuyo objetivo es conocer el estado del arte del recurso en la empresa y contar con una herramienta cuantitativa y fácilmente comparable, que permita evaluar el desempeño con respecto a otras faenas o frente a innovaciones tecnológicas o de gestión de la misma empresa:

- a) Consumo de Agua Fresca: Cantidad de agua fresca necesaria para procesar una tonelada de mineral ( $m^3/\text{ton}$  mineral tratado y  $m^3/\text{ton}$  concentrado tratado, según corresponda) o para obtener un kilo de cobre fino ( $\text{lt}/\text{Kg}$  Cu Fino). El agua fresca cubre las pérdidas producidas a través de los procesos.
- b) Consumo de Agua Total: Cantidad de agua total necesaria para procesar una tonelada de mineral ( $m^3/\text{ton}$  mineral tratado y  $m^3/\text{ton}$  concentrado tratado, según corresponda) o para obtener un kilo de cobre fino ( $\text{lt}/\text{Kg}$  Cu Fino). El agua total es aquella necesaria para mantener a régimen el proceso productivo.
- c) Tasa de Recirculación:  $((\text{Agua Total}-\text{Agua Fresca})/\text{Agua Total} * 100)$  (%). Considerando la dificultad de medir con exactitud todas las aguas recirculadas en las diferentes etapas y procesos, la fórmula presentada corresponde

a un método sencillo de aproximación para obtener el valor de referencia buscado, sin perjuicio de la posibilidad que tienen algunas empresas de medir todos los flujos del proceso y obtener el valor real.

El siguiente ejemplo permite aclarar los indicadores antes mencionados:

Una planta concentradora efectúa su proceso principal de flotación a 40% sólidos, es decir, utiliza en total 1,5  $m^3$  de agua por cada tonelada de mineral tratado, y tiene un consumo de agua fresca de 0,6  $m^3/\text{ton}$  de mineral. Este valor se obtiene midiendo el tonelaje tratado diariamente y dividiéndolo por el consumo efectivo de agua fresca, determinado a través de medidores de flujo ubicados convenientemente. Con estos datos se puede calcular, en forma aproximada, la tasa de recirculación de la planta concentradora:  $((1,5-0,6)/1,5)*100 = 60\%$ .

En igual forma, es posible definir otros indicadores de consumo o de calidad del agua dependiendo de los procesos que se quieran controlar y de la normativa aplicable.

La gestión efectiva del recurso hídrico en la empresa requiere que los indicadores se establezcan en forma oficial y que se acuerde, con el equipo responsable, metas que signifiquen desafíos en la optimización del uso del recurso. Compararse con empresas de características y procesos similares (Benchmarking) es una de las formas para establecer estas metas.

Más allá de los indicadores de eficiencia, a futuro, la empresa minera deberá desarrollar y establecer, también, variados índices de sustentabilidad, entre ellos, el de gestión del recurso hídrico, cuyo objetivo es medir y evaluar las interacciones y repercusiones sociales, económicas y ambientales del uso eficiente del agua para, de esta forma, establecer metas acordes con los principios del desarrollo sustentable.

## 4. Mejores Prácticas en el uso Eficiente del Recurso Hídrico

### 4.1 INTRODUCCIÓN

El agua fresca se capta en las fuentes naturales y se canaliza hasta las plantas de tratamiento o las faenas a través de cañerías y/o canales adecuados. En muchos casos las aguas son previamente tratadas, con el objetivo de dejarlas en condiciones óptimas para el uso al que están destinadas.

Para su distribución, el agua es transportada desde su lugar de almacenamiento al punto de utilización a través de conductos adecuados, siempre bajo un control y monitoreo que garantice su disponibilidad en la cantidad y calidad requerida por cada proceso.

Una vez utilizada, el agua puede ser reutilizada en el mismo proceso o en otro, aunque en algunos casos, debido a las características del proceso que la emite y del que la recibe, será necesario tratarla nuevamente. Las aguas que por diversos motivos, como la distancia, las diferencias de cotas y la factibilidad técnica o económica del proyecto de recuperación de aguas, no pueden ser reutilizadas por la faena, serán descargadas al medio ambiente bajo condiciones controladas.

La gestión del recurso hídrico no sólo debe realizarse durante la etapa de operación de la empresa, sino que en todas sus etapas, desde la exploración hasta el cierre de la faena, enfocándola desde dos puntos de vista fundamentales:

- el impacto de la faena sobre el recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad, considerando ecosistemas, valores paisajísticos y recreativos, otros consumidores, etc.
- el impacto del recurso hídrico y los eventos asociados a los ciclos hidrológicos excepcionales, como sequías, lluvias o nevadas, sobre la faena.

En general, para implementar un sistema de gestión del recurso hídrico se requieren prácticas de carácter general, que ya fueron mencionadas en el Capítulo 3 de este Manual.

En cada una de las instancias de desarrollo, operación y cierre de un proyecto existen espacios abiertos a la mejora. Este capítulo es una guía para ayudar a descubrirlos, mejorar la gestión y fomentar el uso eficiente del recurso hídrico al interior de la empresa.

#### 4.2 MANEJO DE FUENTES

De acuerdo al panorama hídrico nacional, en la zona donde se concentra la mayor parte de las faenas mineras, la escasez del recurso hídrico constituye una limitante para el desarrollo regional, por lo tanto, un manejo adecuado de las fuentes de abastecimiento del recurso, sean éstas superficiales o subterráneas, resulta tan significativo como el consumo.

Como se observa en la Figura 12, en la zona norte, dadas las condiciones climatológicas e hidrológicas imperantes, el recurso hídrico se obtiene, principalmente, de fuentes subterráneas, aprovechando la capacidad de almacenaje que presentan los acuíferos de las cuencas cerradas y salares. Hacia el sur, son las escorrentías superficiales y los embalses - en el caso de déficit estacional - los que adquieren un rol protagónico en el abastecimiento de las faenas[3].

El uso de las aguas superficiales en la zona norte puede tener por consecuencia un impacto sobre la flora y fauna local que, al igual que el agua, se caracteriza por su escasez y generalmente representan expresiones únicas y sensibles. Del mismo modo, el uso de las aguas subterráneas al interior de una cuenca endorreica, puede producir un efecto sobre su base de equilibrio, cuya magnitud y duración dependerá de los flujos, el periodo de extracción y las características del acuífero, entre otras.

En relación con el uso de diversas fuentes de recursos hídricos, es posible indicar que la estabilidad del recurso hídrico proveniente de napas subterráneas es mucho mayor que las escorrentías superficiales, ya que estas últimas dependen de las características de los años hidrológicos y pueden presentarse conflictos con otros consumidores en caso de sequías prolongadas. El efecto de almacenamiento que puede presentar el acuífero (que dependerá de su configuración geológica) otorga una mayor seguridad de suministro a la faena minera.

Dentro de las mejores prácticas relacionadas con el manejo de fuentes del recurso hídrico se encuentran las siguientes:

- Reconocer que el recurso hídrico de la escorrentía superficial puede ser muy variable

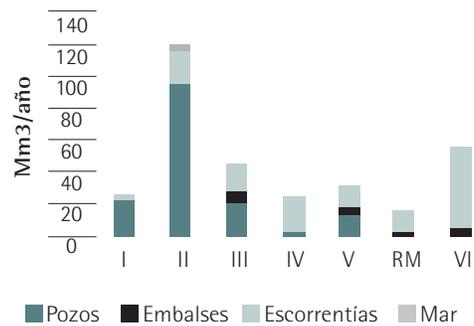


Figura 12. Fuentes de Recurso Hídrico para la Minería de las Regiones I a la VI, Año 2000 [3].

y debe ser reforzado con pozos y/o embalses interanuales.

- Reconocer que el recurso hídrico subterráneo tiene una capacidad de recarga limitada y debe ser monitoreado permanentemente para asegurar que se mantengan las tasas de extracción establecidas, los niveles adecuados para el acuífero y la calidad propia del mismo.
- Buscar el desarrollo y exploración de nuevas fuentes de agua, como las aguas del mar, agua

mina, recursos hídricos eventuales, etc., privilegiando la obtención del recurso en las fuentes que sean menos impactadas. Junto con un adecuado conocimiento de los sistemas cerrados o de vegas y bofedales, para conocer los caudales aprovechables sin perjudicar los equilibrios ecológicos.

- Controlar el estado de los ecosistemas que se abastecen de las mismas fuentes: un manejo responsable de ellas permitirá la conservación de los hábitats y de las especies que los habitan.
- Utilizar modelos hidrogeológicos que permitan proyectar los impactos y monitorear y desarrollar las investigaciones biogeoquímicas necesarias para identificar e implementar las medidas de mitigación que permitan el uso del recurso y la continuidad natural o asistida de los ambientes.
- Administrar y mantener adecuadamente los sistemas de extracción de agua desde pozos subterráneos, implementando sensores para monitorear los caudales extraídos y controlar la cantidad de agua de pozos requerida,

dependiendo de las necesidades reales de abastecimiento y de los derechos concedidos.

- Trabajar en forma conjunta con las autoridades y la comunidad en el control y fiscalización del uso de los derechos constituidos de las aguas.

Los siguientes Casos de Estudio presentan la experiencia exitosa de dos faenas mineras: el primero, presentado por Minera Michilla S.A., trata del "Uso Eficiente de Agua de Mar en Planta de Producción de Cobre"; el segundo, presentado por Minera Escondida Ltda., trata sobre la "Gestión Ambiental en Ambientes Lagunares Precordilleranos".

**Caso de Estudio N°1: "Uso Eficiente de Agua de Mar en Planta de Producción de Cobre" Preparado por Minera Michilla S.A.**

La planta de cátodos de Minera Michilla procesa actualmente minerales oxidados de cobre provenientes de su yacimiento Lince y de terceros, y sulfuros desde su yacimiento Estefanía.

Antecedentes Generales	
Ubicación	105 Km al Norte de la Ciudad de Antofagasta 800 m.s.n.m.
Método de Producción	Rajo Abierto y Mina Subterránea
Producción Mina	5,8 Mt/año; estéril: mineral = 7
Procesos	Óxidos y Sulfuros: Lixiviación en Pilas/ SX-EW
Capacidad de Beneficio	Óxidos: 4,6 Mt/año Sulfuros: 1,2 Mt/año
Producción	Cátodos: 56.500 tpa Cu
Personal	Empleados: 306 Contratistas: 1200 (incluye personal contratista que explota mina subterránea)
Suministro de Agua	Suministro propio desde Océano 102 lt/seg
Consumo de Agua Fresca (óxidos y sulfuros)	0,014 m3/ton de mineral

Tabla 4. Antecedentes Generales de Minera Michilla S.A.

El mineral proveniente desde los yacimientos se procesa por medio de lixiviación en pilas, donde se obtienen soluciones ricas en cobre que son enviadas a dos plantas químicas para las etapas de extracción por solvente y posteriormente electro obtención, donde se consiguen cátodos de cobre de alta pureza.

La capacidad total de la planta química permite obtener una producción superior a las 50.000 toneladas de cobre fino al año, de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 13.

Para todas sus operaciones, Michilla se abastece de agua de mar, por medio de un sistema de

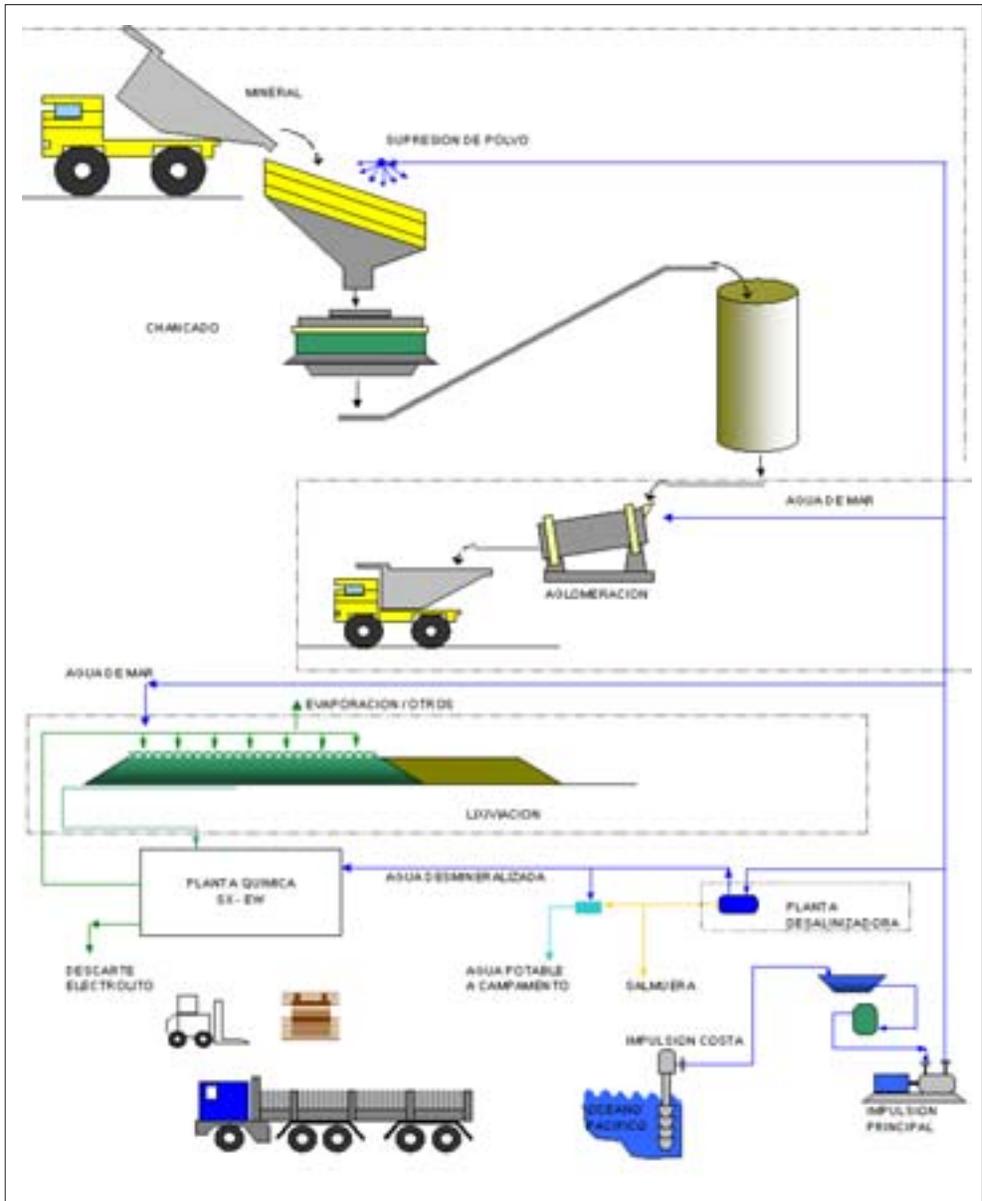


Figura 13. Diagrama de Flujo Planta Cátodos Minera Michilla

impulsión de agua hasta la planta de cátodos (Figura 14). Este sistema de abastecimiento cuenta con tres etapas de transporte de agua:

- Una primera etapa de captación de agua de mar, donde el agua es impulsada unos 180 m.s.n.m.
- La segunda etapa de bombeo, impulsión principal, el agua es filtrada por medio de filtros de arena y posteriormente es impulsada con bombas hasta un punto alto, a unos 830 m.s.n.m.
- Finalmente, el agua es conducida gravitacionalmente hasta las piscinas de almacenamiento ubicadas en el sector de la planta de cátodos.

El sistema de abastecimiento tiene una longitud total de unos 13 Km y actualmente cuenta con capacidad para abastecer la planta de cátodos a razón de 6000 m<sup>3</sup>/día.

El agua de mar se utiliza como fluido de supresión de polvo en la etapa de chancado, para la aglomeración de mineral y para reponer las pérdidas por evaporación en el proceso de lixiviación. Esta adición de agua de mar en el proceso de lixiviación genera altas concentraciones de cloro en las soluciones que se envían a la planta química.

Para mantener en niveles aceptables las concentraciones del cloro proveniente de la lixiviación con agua de mar, parte del electrolito se descarta en la planta química y se rellena el circuito con agua desmineralizada. También en la planta química, en las etapas de lavado del proceso de extracción, se utiliza agua desmineralizada, para evitar un aumento en las concentraciones de cloro.

El agua desmineralizada se obtiene por medio de un proceso de destilación de agua de mar, para lo cual, Michilla cuenta con tres unidades desalinizadoras (Figura 15), con capacidad

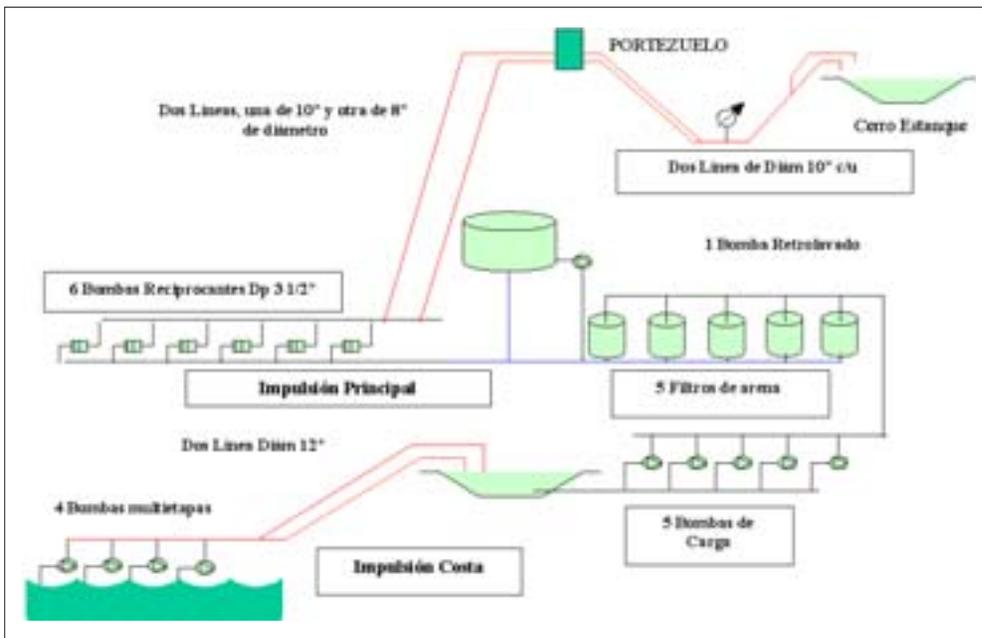


Figura 14. Esquema Sistema de Abastecimiento Agua de Mar

suficiente para cubrir una demanda máxima de 1.000 m<sup>3</sup>/día.

El agua desmineralizada y parte de la salmuera producida por las unidades, se utilizan para obtener el agua potable para el campamento.

Minera Escondida Ltda. explota un yacimiento de cobre en el Desierto de Atacama, II Región de Antofagasta en el Norte de Chile. Uno de los aspectos ambientales relevantes de su operación es el manejo de los recursos hídricos relacionados con sistemas naturales, y especialmente con pequeños humedales del

Figura 15. Planta Desalinizadora

**Caso de Estudio N°2: "Gestión Ambiental en Ambientes Lagunares Precordilleranos" Preparado por Minera Escondida Ltda.**

La II Región de Antofagasta se caracteriza por la escasez de su recurso hídrico superficial, aunque hay evidencia de la existencia de grandes volúmenes almacenados como agua subterránea. La utilización de ambos es necesaria para el desarrollo de la zona, teniendo este uso diferentes implicancias sobre su entorno directo o indirecto.

Salar de Punta Negra, sistema salino cercano a un campo de pozos de la empresa desde donde se obtiene parte del agua subterránea utilizada para el proceso metalúrgico y el consumo humano.

El diseño y ejecución de un programa multidisciplinario de monitoreo e investigación en el que participan investigadores de la empresa, consultores externos y de instituciones gubernamentales ligadas a la conservación de los recursos naturales, ha permitido obtener información inédita de estos sistemas salinos,

diseñar y probar herramientas de conservación del hábitat y las especies que en ellos habitan. Entre ellas destacan, suplemento hídrico de sistemas lacustres, reestablecimiento de comunidades acuáticas, hidrología superficial y subterránea de sistemas salinos, oferta de nidos artificiales, control de la acción de depredadores sobre colonias de flamencos, manejo artificial de polluelos y migraciones regionales de nidificantes.

### Programa de Recarga Artificial de Aguas a Sistemas Lacustres Salinos.

El Salar de Punta Negra, es un cuerpo salino de 250 kilómetros cuadrados compuesto en superficie por vastas extensiones de sales solidificadas. En su margen oriental existen afloramientos de agua salobre que favorecen la presencia de vegetación adaptada a la vida en ambientes salinos y de alta variabilidad climática. Las aguas que dan origen a estas vegas se internan en el salar constituyendo canales de largo y ancho variable, que terminan en lagunas someras de alta salinidad.



Figura 16. Sistema Lacustre VCL2

Las aguas que surgen en la vega sufren un proceso de concentración de sales en su recorrido hacia las lagunas, proceso que está gobernado esencialmente por la evaporación. Por esto, las aguas no son modificadas en su

estructura química, sino mayormente en su concentración.

Esta condición facilita el manejo artificial de estos sistemas pues basta con inocular superficialmente en la vega aguas de similares características a aquellas que naturalmente afloran desde el acuífero subterráneo, para que el sistema lacustre y la evaporación la modifiquen en su viaje hacia las lagunas.

### Sistema de Recarga Artificial de Aguas

En 1998 se inició el diseño experimental de un sistema que permitiera probar la factibilidad de suplir eventuales reducciones del flujo subterráneo afluente a los sistemas lacustres, producto de la extracción de aguas subterráneas.



Figura 17. Recarga directa en vega y sensor ultrasónico de nivel hídrico.

La adición de 14 litros por segundo sería suficiente para mantener en el tiempo los dos principales sistemas lacustres del Salar de Punta Negra.

Si bien la mayoría de los pozos en operación en la Cuenca del Salar de Punta Negra reunían las características químicas estructurales para ser utilizados en la recarga artificial, ninguno de ellos era capaz de entregar las concentraciones de sales requerida para recargar en las vegas,



Figura 18. Colonia de reproducción del Flamenco Andino en Laguna bajo recarga artificial (Verano, 2002)

cercana a los 10 gramos por litro de sólidos totales disueltos.

Por lo anterior, se diseñó un sistema de mezcla automática de aguas provenientes de dos pozos, cada uno con su correspondiente respaldo. Una red de 35 kilómetros de tubería permitió conducir las aguas hasta las vegas de los sistemas lacustres, en las que a través de un sistema que consta de infiltración y descarga directa, logró suplir hídricamente las vegas y estudiar la respuesta biogeoquímica de los sistemas.

#### **Recarga directa en Vega**

Un completo y complejo programa de monitoreo ha permitido establecer que la recarga artificial no produce cambios negativos en la química de los sistemas lacustres, ha favorecido la presencia y la abundancia del alimento del flamenco andino (diatomeas) y ha permitido el establecimiento de las condiciones necesarias para la reproducción del flamenco, determinadas básicamente por niveles de agua y salinidad de sedimentos necesarios para la protección y construcción de sus nidos, respectivamente.

En efecto, luego de una década de intentos fallidos de estas aves por reproducirse, durante el verano de este año y con el apoyo del sistema de recarga artificial de aguas, se instaló en la laguna del sistema VCL<sub>3</sub> del Salar de Punta Negra, una colonia de reproducción del Flamenco Andino que superó los 1000 nidos activos.

Minera Escondida continúa la investigación sobre estos sistemas lacustres en el entendido que el uso de los recursos naturales requieren de una gestión responsable que permita la conservación de las condiciones naturales de los ecosistemas.

#### **4.3 EXTRACCIÓN, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN**

El objetivo de esta etapa es administrar eficazmente los recursos hídricos que posee la faena para satisfacer las necesidades de todos los consumidores internos, en la cantidad y calidad requerida, en el momento oportuno.

La conducción del recurso hídrico hacia las faenas mineras depende del tipo de fuente de extracción. Es así como en ciertas mineras el agua llega a través de cañerías, de propiedad de la misma faena, desde la fuente superficial (salares, vertientes, ríos), subterránea (pozos) o desde el mar, y en otras, se utiliza la red de agua potable de la ciudad más cercana.

El recurso hídrico a utilizar en la faena se dispone en piscinas o en estanques de almacenamiento, los cuales poseen una capacidad determinada y un cierto nivel mínimo de llenado cuyo objetivo es evitar cualquier situación de emergencia relacionada con la falta de agua.

El agua se distribuye a través de bombas, válvulas y cañerías dentro de la faena. Las pérdidas más significativas de esta etapa están dadas por la evaporación en superficies

descubiertas y las fugas asociadas a roturas o mantenimientos inadecuados de estos mecanismos.

Dentro de las mejores prácticas relacionadas con la extracción, transporte, almacenamiento y distribución del recurso hídrico se encuentran las siguientes:

- Evaluar y planificar correctamente las instalaciones asociadas, considerando la capacidad y el potencial de ruptura de las mismas, la probabilidad y frecuencia con que se presentan flujos diferentes a los de diseño y el impacto de una emergencia sobre el recurso hídrico, dentro y fuera de la faena.
  - Realizar mantenimientos preventivos adecuados a las instalaciones.
  - Instalar mecanismos de detección oportuna de fugas en las líneas de agua del proceso.
  - Monitorear y registrar permanentemente el nivel, calidad y caudal de las soluciones distribuidas.
  - Buscar permanentemente la reducción del consumo de agua potable, eliminar las pérdidas en sistema de fittings en usos sanitarios, incentivar la maximización de la utilización del agua para consumo doméstico, etc.
  - Análisis de los registros históricos de los consumos y su relación con los niveles de producción, a fin de determinar los requerimientos de agua reales de la planta.
  - Análisis de las descargas de aguas residuales para determinar la cantidad y calidad del agua que se pierde en el proceso y que no pasa a ser parte del producto final.
  - Análisis y evaluación de las instalaciones y de las actuales metodologías de trabajo para estudiar posibles mejoras, cambios de procedimientos, de equipos, etc.
  - Verificación de las pérdidas de agua en las diferentes líneas. Corrección de los problemas detectados y estudio de factibilidad a la implementación de las posibles mejoras.
  - Análisis de los posibles circuitos de recirculación de agua, considerando los flujos que provienen de diferentes operaciones y procesos unitarios que podrían ser utilizados en la misma etapa o en otra, de acuerdo a las condiciones requeridas por cada una de ellas.
- Los consumos más significativos de agua en la Mediana y Gran Minería del Cobre se centran en las siguientes etapas del proceso minero-metalúrgico:

#### 4.4 REDUCCIÓN DEL CONSUMO EN OPERACIONES

Uno de los principales aspectos que se consideran al diseñar un Sistema de Gestión del Recurso Hídrico, es la reducción del consumo de agua fresca, lo que implica una disminución en los caudales de aguas residuales y de los costos de tratamiento respectivos.

Para reducir el consumo de agua fresca se ha determinado que, en general, se deben considerar los siguientes pasos o etapas:

- Plantas Concentradoras
- Plantas Hidrometalúrgicas
- Fundiciones / Refinerías

Sin embargo, existen también otras actividades cuyos consumos acumulados pueden ser tan significativos como los anteriores y merecen ser considerados en los planes de gestión del recurso hídrico.

El hombre, como ser vivo, requiere de una cantidad importante de agua para satisfacer sus necesidades. Entre éstas se cuentan el agua para beber, para asearse, para lavar sus alimentos y

los utensilios de cocina, para lavar su ropa, la empleada en los servicios higiénicos, etc. Como se observa, la mayor parte del agua utilizada por el hombre no es consumida, sino que una vez empleada se descarta con una calidad diferente a la original (Ver Capítulo 1).

También se requieren cantidades importantes de agua en otras actividades que se realizan dentro de la empresa minera, entre las cuales se destacan la mantención y riego de caminos, los campamentos y oficinas, el riego de áreas verdes y el agua siempre disponible en el estanque de incendio.

A continuación se identifican los principales consumos y pérdidas asociados a cada proceso y las opciones existentes de optimización en el marco del uso eficiente del agua.

#### 4.4.1 Plantas concentradoras

Dentro del tratamiento de minerales sulfurados, los consumos más significativos se presentan en la flotación, el transporte de concentrados y relaves, y la evaporación e infiltración en los tranques.

Como se observa en la Figura 19, la flotación se realiza normalmente a una tasa que varía

entre un 25% y un 40% de sólidos, que ha sido evaluada en laboratorio a escala piloto con respecto a la recuperación del mineral. Con estos valores, los requerimientos de agua durante la flotación pueden variar entre 3 y 1,5 m<sup>3</sup>/ton de mineral.

El concentrado obtenido en el proceso de flotación es enviado a las etapas de desaguado, esto es, a espesamiento y luego a filtración, para reducir la cantidad de agua contenida en él. Existen operaciones en las cuales el concentrado se transporta primero hacia instalaciones más distantes de la faena y después se extrae el agua. Dependiendo de la distancia entre la planta concentradora y las instalaciones de filtrado y almacenaje, las aguas residuales pueden o no ser recirculadas al proceso de flotación. Cuando no es posible recircular, una parte de esta agua se destina a uso industrial y el resto se devuelve al medio ambiente bajo condiciones controladas (Ver Figura 20).

Sin embargo, la mayor parte del agua que se utiliza en la flotación pasa a formar parte del relave, que también se envía a espesamiento para recuperar una parte importante del agua que contiene y luego ser enviado a un tranque o depósito de relaves donde se recupera más agua,

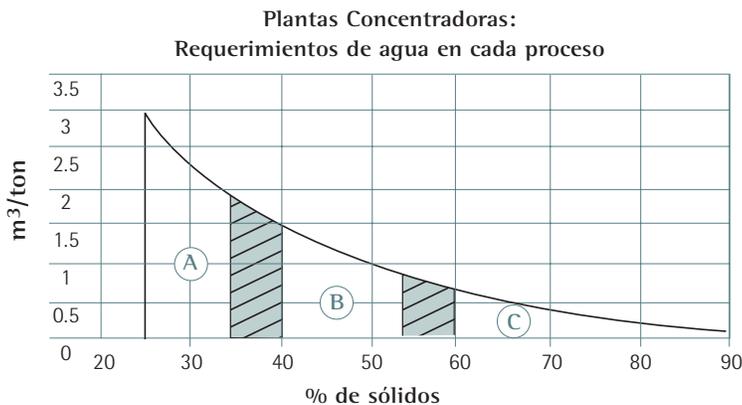


Figura 19. Gráfica típica de Requerimientos de Agua en Procesos de Plantas Concentradoras. La Zona A corresponde a rangos de operación típicos para el proceso de Flotación, la Zona B a Espesamiento y la Zona C a Filtración.

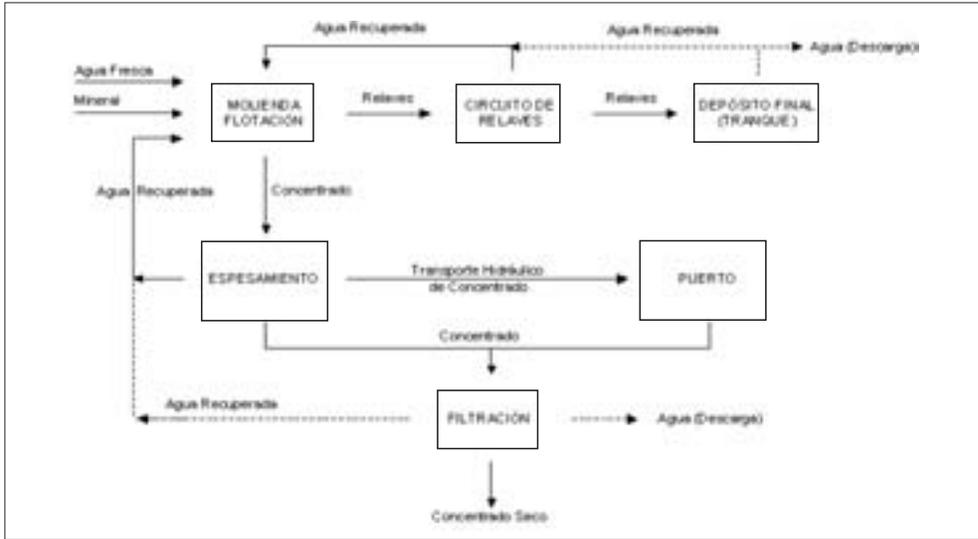


Figura 20. Diagrama de Flujo Básico de una Planta Concentradora.

si es posible. La Figura 19 se aplica también a los relaves. El agua recuperada puede ser enviada nuevamente al proceso, como se observa en la Figura 20, reduciendo de este modo el consumo de agua fresca. Las pérdidas de agua asociadas a los relaves son evaporación, filtración y retención.

Dependiendo de las operaciones unitarias realizadas en el Circuito de Relaves, el consumo típico de agua fresca resultante en una planta concentradora varía según lo expuesto en la Tabla 5.

El consumo real de agua fresca en las Plantas Concentradoras del país varía entre 0,4 y 2,3m<sup>3</sup>/ton de mineral. Maximizando la recirculación desde los espesadores y tranques, evitando fugas y minimizando evaporaciones es posible alcanzar valores de consumo bajo 0,5 m<sup>3</sup>/ton de mineral.

Los Casos de Estudio que se presentan a continuación, muestran la experiencia exitosa de Empresa Minera de Mantos Blancos S.A. en la "Reducción de Consumo de Agua Fresca en la Planta Concentradora de División Mantos

Circuito de Relaves	Agua Fresca m <sup>3</sup> /ton mineral
Directo a Depositación (Sin Tratamiento)	1.8 – 2.2
Espesamiento – Depositación (Espesamiento 50% de sólidos)	1.0 – 1.2
Cicloneo – Espesamiento – Depositación (Espesamiento 60% de sólidos)	0.6 – 0.8
Cicloneo – Espesamiento – Filtración – Depositación	0.3 – 0.5

Tabla 5. Requerimientos de Agua Fresca en Plantas Concentradoras sin Recirculación de Aguas desde el Depósito de Relaves. Circuito de Relaves

Blancos" y de Minera Los Pelambres en el "Uso Eficiente de Aguas en Tranque de Relaves Los Quillayes".

**Caso de Estudio N°3: "Reducción de Consumo de Agua Fresca en la Planta Concentradora de División Mantos Blancos"**  
Preparado por Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.

El complejo minero de Mantos Blancos se ubica en el Desierto de Atacama, a 45 Km. al noreste de Antofagasta (II Región) e incluye una mina a rajo abierto y plantas de beneficio de óxidos

y sulfuros de cobre, con una capacidad de tratamiento anual del orden de 8,7 millones de toneladas de minerales (Tabla 6).

El agua industrial que abastece a esta faena es comprada a la Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta (ESSAN) a una razón de 80 l/s y a Ferrocarril Antofagasta Bolivia (FCAB) a una razón de 15 lt/s.

La planta concentradora entró en operaciones en 1981 y tiene una capacidad actual de tratamiento de 11.500 tpd de minerales de cobre, que se procesan de acuerdo al diagrama de la Figura 21.

Antecedentes Generales	
Ubicación	45 Km al NE de la Ciudad de Antofagasta 900 m.s.n.m.
Método de Producción	Rajo Abierto
Producción Mina	53.6 Mt/año; estéril: mineral = 4.6
Procesos	Óxidos: Lixiviación en Bateas/ SX-EW; Lixiviación en Botaderos /SX-EW; Sulfuros: Flotación
Capacidad de Beneficio	Óxidos en bateas: 4.65 Mt/año Óxidos en botaderos: 7.00 Mt/año Sulfuros: 4.20 Mt/año
Producción	Cátodos: 60,000 tpa Cu Concentrados: 48,600 tpa Cu
Personal	Empleados: 420 Contratistas: 700
Suministro de Agua	ESSAN 85 lt/seg FCAB 15 lt/seg Agua Pura 30 lt/seg
Consumo de Agua Fresca (óxidos y sulfuros)	0.30 m <sup>3</sup> /ton de mineral

Tabla 6. Antecedentes Generales de División Mantos Blancos

Los relaves que genera la planta concentradora representan cerca del 96% del mineral tratado y contienen la mayor cantidad del agua requerida por el proceso. Para maximizar su recuperación y lograr la depositación de los sólidos en forma segura y estable, estos relaves son tratados según el circuito que se muestra en la Figura 22.

El rebalse (finos) de los hidrociclones se envía a espesamiento y la descarga (arenas) es enviada directamente a filtración (Figura 23). El espesamiento de los finos genera una pulpa de aproximadamente 60% de sólidos que en mayor proporción se envía a un depósito de relaves finos y el resto se mezcla con las arenas que van a filtración. Las arenas filtradas con un 80%

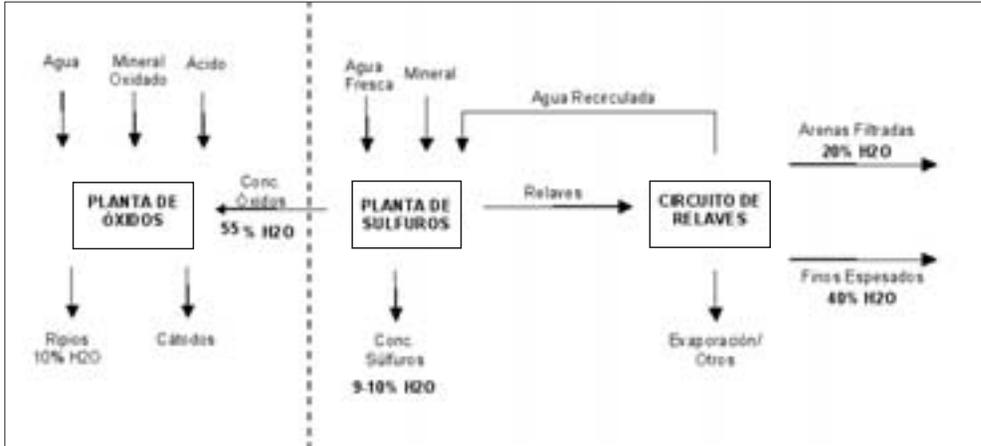


Figura 21. Diagrama de Flujos Concentrador Mantos Blancos

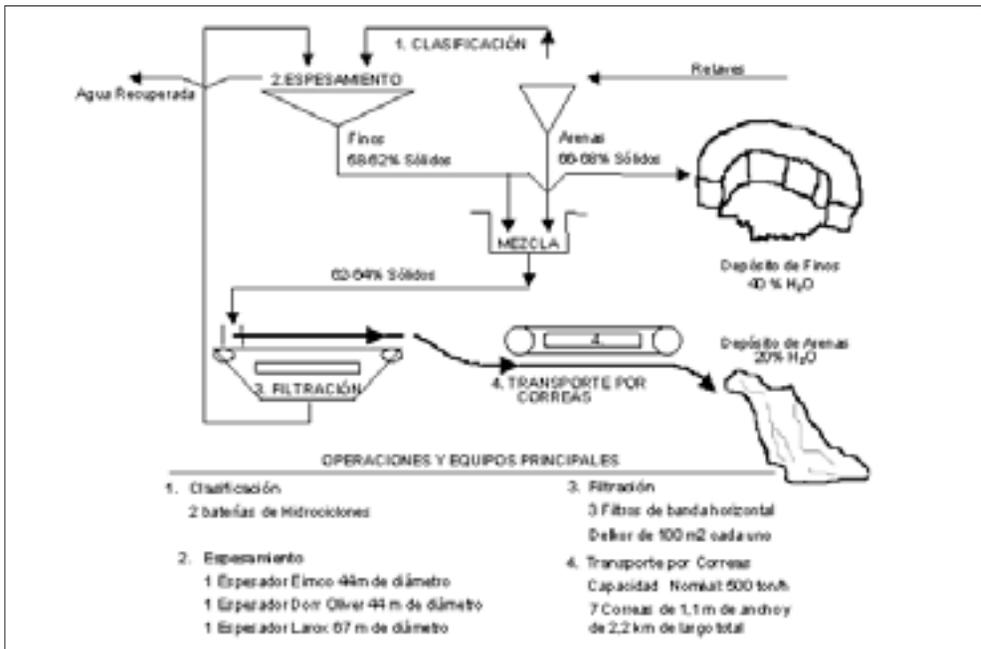


Figura 22. Circuito de Relaves Mantos Blancos

de sólidos, se envía a un botadero a través de correas transportadoras.

El agua recuperada en los procesos de espesamiento y filtración representa un 80% del agua contenida en los relaves y es devuelta a las operaciones de molienda y flotación. La Figura 24 muestra la evolución del consumo

de agua en el tiempo en la División Mantos Blancos. Como resultado de las operaciones descritas, la planta concentradora ha logrado un consumo de agua fresca cercano a 0,45 m<sup>3</sup>/ton de mineral beneficiado, índice altamente competitivo especialmente en una zona desértica donde este recurso es escaso y caro.

Figura 23. Espesamiento de Relaves Finos y Filtración de Relaves Grosos (Arenas).

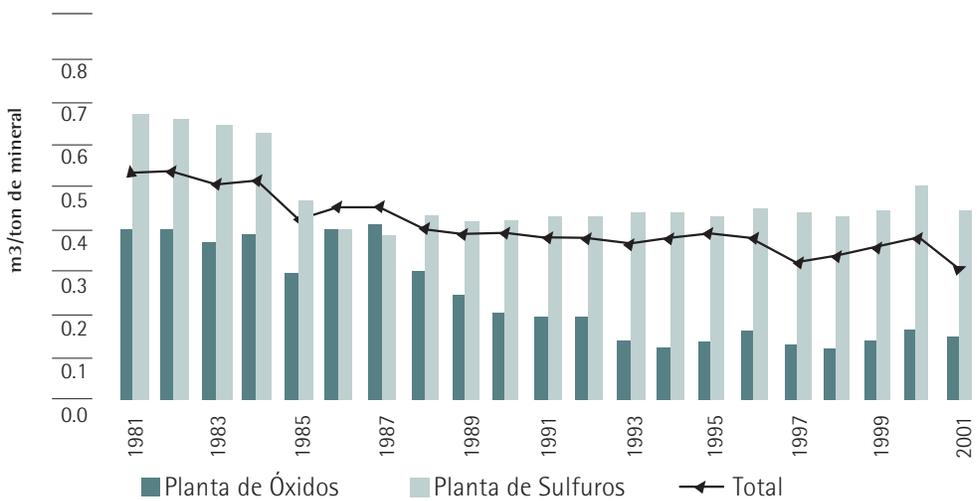


Figura 24. Consumo Histórico de Agua Fresca en División Mantos Blancos

Antecedentes Generales	
Ubicación	120 Km al Este de Los Vilos 3800 m.s.n.m.
Método de Producción	Rajo Abierto
Producción Mina	80 Mt/año material total; razón estéril : mineral = 1:1
Procesos	Flotación y separación de cobre y molibdeno
Capacidad de Beneficio	114.000 tpd, 42 Mt/año
Producción	Concentrado: 343,000 tpa Cu fino
Personal	Empleados: 500 Contratistas: 1000
Suministro de Agua	Propio 528 l/s
Consumo de Agua Fresca	0.40 m <sup>3</sup> /ton de mineral

Tabla 7. Antecedentes Generales de Minera Los Pelambres

**Caso de Estudio N°4: "Uso Eficiente de Aguas en Tranque de Relaves Los Quillayes de Minera Los Pelambres, año 2002"**  
Preparado por Minera Los Pelambres

El agua es un recurso indispensable para la actual operación de MLP, así como para cualquier posible expansión en su capacidad de producción. Es además, determinante en las relaciones con la comunidad del Valle del Choapa.

MLP dispone de los siguientes derechos de aprovechamiento:

- Aprox. 700 l/s en el río Cuncumén sometido a prorrateo;
- 400 l/s río Choapa sometido a prorrateo;
- 88 l/s en canales de regadío;
- 560 l/s pozos Chellepín/Salamanca;
- Aguas alumbradas, propiedad de MLP, amparadas por el Código Minero.

Independientemente de los derechos de aprovechamiento de aguas de que dispone MLP, la administración de recursos hídricos debe asegurar su disponibilidad real y con la menor interferencia posible a derechos de terceros.

Con respecto a la Hidrología de la cuenca, se sabe que en los últimos 40 años el caudal promedio del río Cuncumén ha sido de 1000 l/s para una cuenca de 220 km<sup>2</sup> (Piuquenes) con peak de 10 m<sup>3</sup>/s. Además, en la cuenca alta (35 km<sup>2</sup>, 15% de cuenca Cuncumén) el flujo no supera 100 l/s con peaks de 1-2 m<sup>3</sup>/s.

Con respecto a los procesos, se trata de una mina a tajo abierto, ubicada a 3.500 m.s.n.m. Cuenta con dos circuitos de molienda y se producen en total 4.000 tph de mineral en pulpa con 30% de sólidos y 34% de Cu, para una producción anual de 313.000 ton de Cu fino en 726.000 ton de concentrado. La pulpa de concentrado de Cu es impulsada por una tubería de 120 km desde Los Piuquenes hasta el Puerto de Punta Chungo. En la planta de Molibdeno se obtiene un concentrado final con 52% Mo y el agua de los relaves es recuperada mediante decantación y espesamiento.

	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /agua/t relave
Entradas		
-Agua del relave	2817	0.818
-Escorrentía no desviada	7	0.002
Subtotal	2824	0.820
Pérdidas		
-Agua Retenida	1004	0.292
-Evaporación	227	0.066
-Infiltración no recuperada	4	0.001
Subtotal	1235	0.359
Total Agua Recuperada	1589	0.461

Tabla 8. Balance de Aguas en el Tranque

El suministro de agua fresca es gravitacional desde el estero Piuquenes y el Río Pelambres y mediante bombeo desde el Río Choapa, además del agua proveniente de pozos profundos. Los requerimientos de agua fresca potenciales son

de 450 l/s (actualmente 390l/s) con un consumo promedio de agua fresca de 0.40 m<sup>3</sup>/tonelada procesada y una recirculación estimada del agua de proceso para la planta concentradora de 85%.

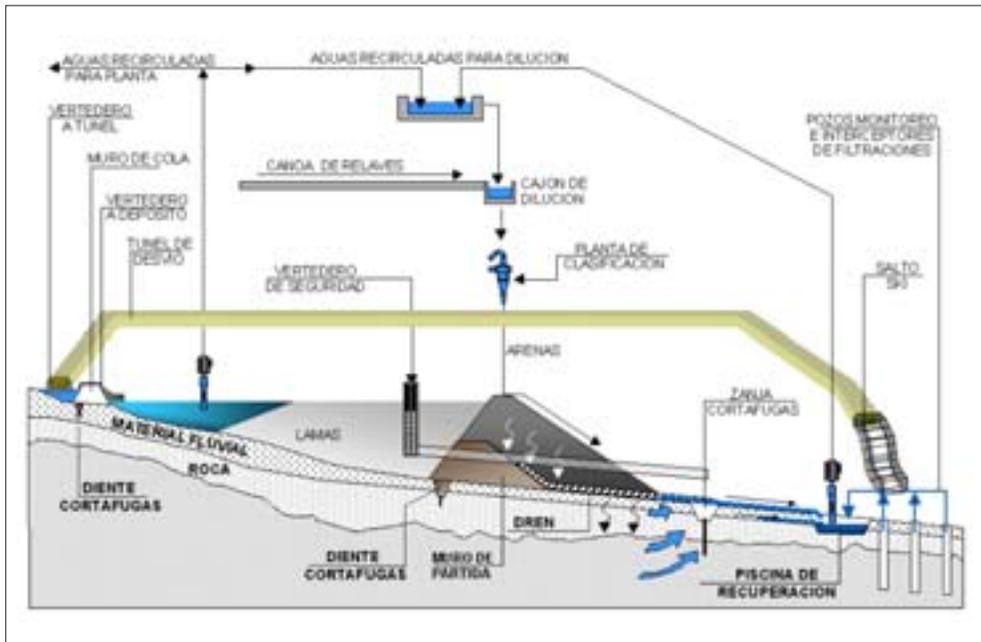


Figura 25. Tranque de Relaves Los Quillayes - Conceptualización General de Obras

Tranque Los Quillayes	
Elevación media	1.400 m.s.n.m.
Precipitación media anual	300 mm/año
Temperatura media anual	12 °C
Cuenca afluyente	220 km <sup>2</sup>
Q medio anual río Cuncumén	1 m <sup>3</sup> /s
Q máximo registrado	20 m <sup>3</sup> /s (registro de 40 años)
Balance de aguas	Reutilización del 85% del total de las aguas del proceso. Circuito industrial cerrado y recirculación total de las aguas de la piscina colectora al tranque.
Demanda Global de Agua Fresca	0.4m <sup>3</sup> por tonelada métrica de mineral procesada.

Tabla 9. Características Generales del Tranque Los Quillayes

Durante la operación del tranque, hasta el año 30, y posterior a ella, se han considerado las siguientes medidas de mitigación:

Durante la Operación	Post Operación
• Cortinas de inyecciones profundas	• Zanjas cortafuga superior e inferior
• Recirculación desde piscina recolectora de drenes	• Cortinas de inyecciones profundas
• Zanjas cortafuga superior e inferior	• Desvío del río Cuncumén
• Desvío de río Cuncumén	• Vertedero del tranque
• Canales de contorno	• Pozos de monitoreo-bombeo
	• Canales de contorno
	• Cobertura con material grueso

En lo que respecta al cierre, se están estudiando las siguientes alternativas:

- Sellado con relaves no acidogénicos
- Inundación permanente de la cubeta
- Capa de tierra vegetal
- Vegetación

Es importante destacar que a partir del año 8, el sistema puede regular eventos con características de 1 en 10,000 años.



Figura 26. Tranque de Relaves Los Quillayes

Para diferentes escenarios de producción, los requerimientos de agua fresca pueden variar desde 450 l/s para 85.000 tpd hasta 850 l/s para 185.000 tpd. Todos los escenarios suponen una recirculación de 40% a 50% del agua contenida en el transporte de relaves, 80% a 85% del agua de todo el proceso y un consumo de agua fresca de 0.40 m<sup>3</sup>/ton procesada.

#### 4.4.2 Plantas hidrometalúrgicas

Las pérdidas de agua más significativas del proceso hidrometalúrgico están dadas por la evaporación, que en las pilas puede variar entre los 5 y 15lt/m<sup>2</sup>/día, la humedad residual de los ripios (entre un 10% y un 15%), el lavado del orgánico y la purga de soluciones en los mismos

ripios, realizadas con el objetivo de eliminar las sales e impurezas contenidas que ya no pueden ser limpiadas. En la Figura 27 se muestra un diagrama simplificado del proceso.

Previo a la lixiviación el material es chancado y aglomerado, con un consumo de agua mínimo, limitado al necesario para evitar el polvo en suspensión y dar al mineral una humedad de alrededor de un 10%.

El mineral aglomerado se dispone en pilas y bateas, y se riega con una solución ácida. En el caso de las pilas, éstas son construidas sobre una superficie impermeabilizada con objeto de recuperar la totalidad de las soluciones y de evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

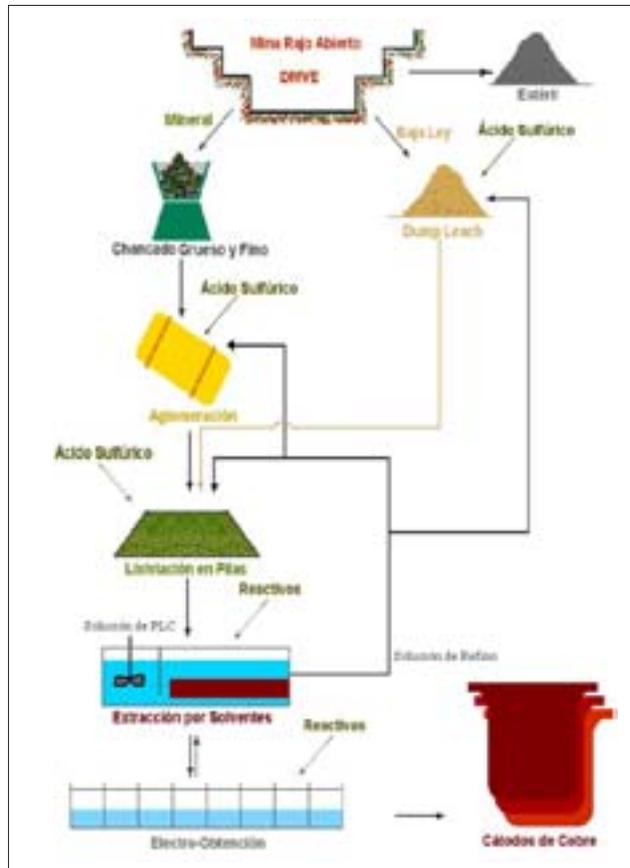


Figura 27. Diagrama Simplificado de una Planta Hidrometalúrgica

Como resultado de este proceso, se obtiene un material con muy poco cobre que se conoce con el nombre de ripio y que se descarta de diversas maneras. Por otra parte, la solución rica en cobre que se obtuvo es sometida al proceso de extracción por solventes.

El objetivo de la extracción por solventes, es transferir selectivamente el cobre contenido en la solución rica a una solución limpia de impurezas llamada solución de electrolito, la que posteriormente pasará al proceso de electro-depositación. El proceso selectivo de transferir cobre se realiza con la ayuda de un fluido

riego de las pilas, previo re-acondicionamiento. Luego de varios ciclos, la solución reutilizada contendrá bastantes impurezas y se descartará, por evaporación, al agregarla a alguna pila a la que ya se le extrajo todo el cobre presupuestado.

El proceso de electro-obtención se logra por la aplicación de corriente eléctrica continua a las soluciones de electrolito de cobre, logrando que el cobre que está en solución se deposite como cobre metálico en placas de acero inoxidable, que conforman la parte del electrodo del circuito eléctrico. El producto de la planta de electro-obtención es cobre de alta pureza.

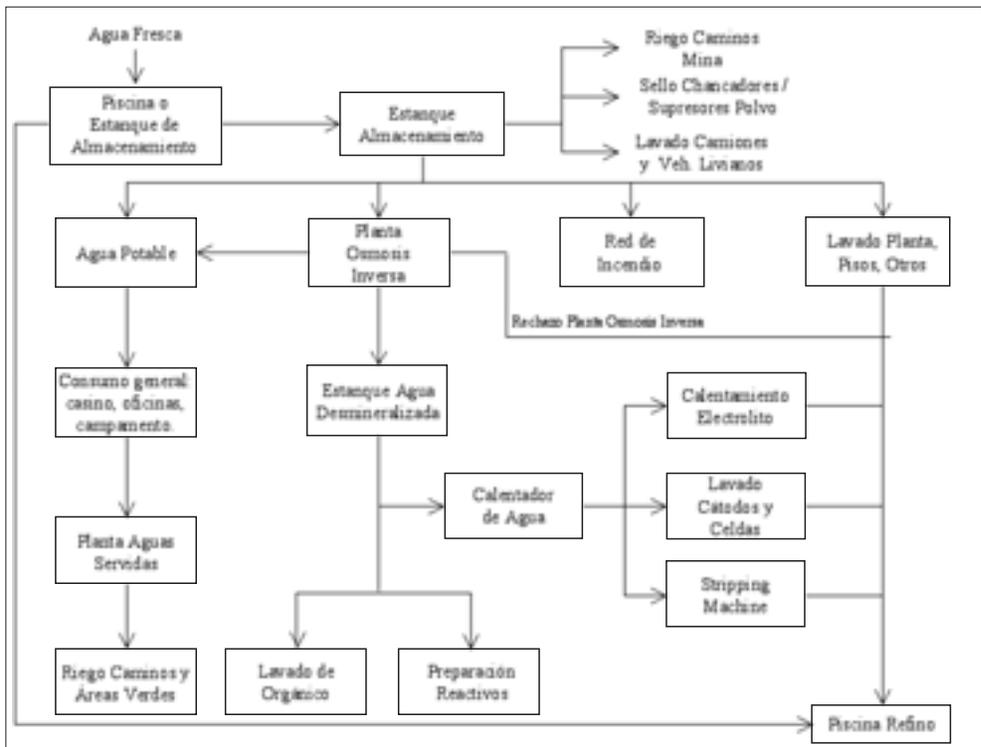


Figura 28. Diagrama Simplificado de Distribución de Aguas en una Planta Hidrometalúrgica

denominado orgánico, que captura el cobre desde la solución rica y después lo entrega a la solución de electrolito.

Parte de la solución proveniente de la lixiviación y que fue descargada de cobre mediante extracción por solventes, es reutilizada para el

La solución final, que es electrolito pobre en cobre, vuelve a recircular para cargarse de cobre desde el orgánico para seguir entregando cobre a las celdas donde se realiza el depósito del cobre metálico. La Figura 28, muestra algunos de los consumos de agua típicos en una planta hidrometalúrgica.

El consumo de agua fresca en las Plantas Hidrometalúrgicas del país varía entre 0,12 y 0,35m<sup>3</sup>/ton de mineral.

Recirculando las soluciones, evitando infiltraciones y minimizando la evaporación el consumo de agua puede optimizarse hacia valores menores a 0,25m<sup>3</sup>/ton de mineral.

El Caso de Estudio que se presenta a continuación, muestra la experiencia exitosa de Compañía Minera Quebrada Blanca S.A. en la "Reducción del Consumo de Agua en los Sistemas de Enfriamiento de los Chancadores secundario y terciario".

**Caso de Estudio N°5: "Reducción del Consumo de Agua en los Sistemas de Enfriamiento de los Chancadores secundario y terciario" Preparado por Compañía Minera Quebrada Blanca S.A.**

Compañía Minera Quebrada Blanca se encuentra ubicada en la I Región del país, zona donde el recurso hídrico es escaso y debe ser protegido.

La planta de beneficio tiene una capacidad nominal de 21.000 tpd y se obtienen alrededor de 68.000 toneladas de cátodos anuales a través de procesos hidrometalúrgicos.

El diseño de ingeniería original del sistema de enfriamiento de los chancadores secundario y terciario no contemplaba la posibilidad de recuperar el agua utilizada en el enfriamiento, razón por la cual era descartada hacia la quebrada aledaña a los chancadores.

El Departamento de Ingeniería de la Compañía, desarrolló un proyecto cuyo objetivo era implementar un sistema que recircule el agua de proceso utilizada en los sellos de los chancadores, permitiendo un mejor aprovechamiento del recurso agua de proceso; filtrar los lodos y el aceite contenidos en el agua de sello, y contribuir al mejoramiento del

medio ambiente evitando su contaminación por aguas impuras.

**Características del Sistema**

El sistema de recirculación está compuesto por un estanque de recirculación de 5,7 m<sup>3</sup> de capacidad, un sensor de nivel de estanque y un grupo motobomba.

Las características del motor son: potencia de 7,5 HP, velocidad de 2.880 RPM, 380 V y 11,8 A.

Las características de la bomba son: altura de elevación de 30m. y un caudal de 205 lt/min.

**Conclusiones**

El sistema de recirculación de agua en los chancadores permite el re-aprovechamiento de 12.3m<sup>3</sup>/hr (equivalentes a 295.000 lt/día o a las necesidades de consumo diarias de 1000 personas), los cuales se verán rebajados del inventario del agua de proceso utilizada por la planta y se evitará su descarga al medio. El ahorro anual del recurso hídrico debido a la implementación de este proyecto se estima en 107.748 m<sup>3</sup>.

**4.4.3 Fundiciones y refinерías**

El concentrado obtenido en las plantas concentradoras se seca hasta obtener un 0.2% de humedad y luego se funde a altas temperaturas. Para hacer más eficiente las reacciones de fusión, es necesario producir oxígeno, lo que se consigue utilizando agua. El producto de la fusión, denominado eje o mata, se lleva a la etapa siguiente que es la conversión. La escoria, en cambio, se lleva a botaderos.

Los gases generados en el proceso (con una temperatura de 1.243° C) son captados a través de una campana refrigerada por agua. Posteriormente, los gases son enfriados en una cámara evaporativa con agua atomizada (350°C

a 400°C) y enviados a las plantas de ácido, donde son lavados con agua para remover los sólidos.

La conversión elimina las impurezas, produciendo cobre metálico líquido en forma de cobre blister, no refinado, el cual se lleva a una etapa de pirorefinación donde se obtiene el cobre refinado a fuego (cobre RAF).

El cobre RAF es moldeado en placas gruesas, en forma de ánodos, los cuales son enviados al proceso de electro-refinación.

En este proceso, las pérdidas de agua se deben, fundamentalmente, a la evaporación y al descarte de soluciones. Para la primera, se pueden utilizar pequeñas esferas plásticas que flotan sobre el electrolito reduciendo la evaporación. En cuanto al descarte, éste se realiza debido a que el electrolito se va contaminando con metales no deseados (como arsénico y antimonio) requiriendo una limpieza. Al final de diversas etapas de limpieza, siempre hay soluciones que contienen demasiadas impurezas y por lo tanto no pueden ser recicladas.

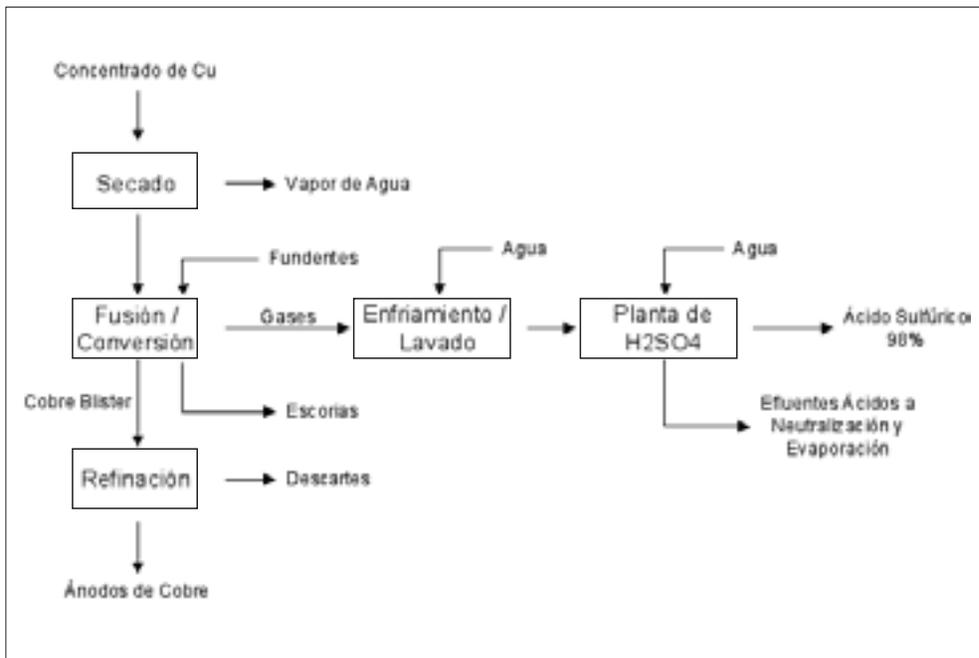


Figura 29. Diagrama Simplificado de una Fundición de Cobre

El proceso de refinación electrolítica es el último de la vía tradicional de recuperación de cobre y consiste en electrolizar los ánodos provenientes de la fundición, con lo cual se eliminan las impurezas y se generan cátodos de cobre electrolítico de alta pureza.

Los componentes del ánodo que no se disuelven se depositan en el fondo de las celdas electrolíticas, formando lo que se conoce como barro anódico el cual es bombeado y almacenado para extraerle su contenido metálico (oro, plata, selenio, platino y paladio).

Los consumos y pérdidas de agua más relevantes en fundiciones y refinerías están dadas por el secado del concentrado, el lavado de gases en la planta de ácido, la evaporación y descarte de soluciones, la fusión del mineral y la generación de oxígeno (Figura 29).

En la actualidad, las fundiciones nacionales presentan un consumo promedio de agua fresca que fluctúa entre los 6 y 12 m<sup>3</sup>/ton de metal producido.[6]

El Caso de Estudio que se presenta a continuación, muestra la experiencia exitosa de Fundición Altonorte en la "Reducción del Consumo de Agua en Fundición".

**Caso de Estudio N°6: "Reducción del Consumo de Agua en Fundición"**

**Preparado por Noranda Chile Ltda. - Fundición Altonorte**

Fundición Altonorte, propiedad de Noranda Chile Ltda. es una fundición de concentrado de cobre ubicada en el kilómetro 1.348 de la carretera Panamericana Norte, Sector La Negra, a 25 kilómetros al Sudeste de Antofagasta.

Su producto principal es Ánodos de Cobre destinados al tratamiento electrolítico de refinería a partir de concentrados producidos en el país y el extranjero. Como subproducto se obtiene ácido sulfúrico, que proviene del tratamiento de los gases metalúrgicos generados en el proceso de fusión y conversión.

Antecedentes Generales	
Ubicación	25 Km al SE de la Ciudad de Antofagasta 550 m.s.n.m..
Método de Producción	Pirometalurgia.
Procesos	Fusión de concentrado; Conversión; Refino y Moldeo Flotación de escoria. Lavado de gases. Pta. de Producción de ácido
Capacidad de Tratamiento	Concentrado: 870.000 TMS/año Gases: 2,2 • 10 <sup>9</sup> NM3/año Escoria: 300.000 TMS/año
Producción	Ánodos: 264.000 TM Cu 99% Ácido Sulfúrico: 720.000 TM H2SO4 98%
Personal	Empleados: 478 Contratistas: 130
Suministro de Agua	MEL 15 lt/seg BIWATER 30 lt/seg Agua Pozo 30 lt/seg
Consumo de Agua	2,7 m <sup>3</sup> /ton de concentrado

Tabla 10. Antecedentes Generales de Fundición Altonorte



Figura 30. Plano de Ubicación Fundición Altonorte

A pesar de ser un proceso pirometalúrgico, la obtención de cobre mediante la fusión de concentrado, requiere contar con importantes volúmenes de agua, principalmente para control de temperatura de los equipos principales, sistemas de enfriamiento, lavado de gases y para la producción de ácido sulfúrico.

El agua es un recurso escaso en la II Región. Altonorte disponía para su abastecimiento hasta marzo del presente año, solamente de dos pozos profundos, ubicados en el Salar de Yungay a 65 Km al Sur Este de donde se encuentra emplazada la planta. Dada la importancia de disponer del recurso, ha sido necesario mantener un riguroso seguimiento del acuífero y un permanente monitoreo del nivel freático.

Los requerimientos de agua adicional, derivados del Proyecto Expansión Fase III, cuya expectativa es aumentar la capacidad de tratamiento de concentrado de 400.000 hasta 820.000 Toneladas anuales y la producción de ácido Sulfúrico, de 250.000 a 700.000 Toneladas, que incluye una Planta de Flotación convencional para tratamiento de escoria, aumentarán el consumo desde 30 hasta 90 lt/seg.

La búsqueda de fuentes alternativas se desarrolló en concordancia con la Política Medio Ambiental de Noranda, definiéndose los siguientes objetivos:

Cero Descarga:

- No existen cursos de agua superficial, ni pozos de infiltración por lo que no es factible su descarga al ambiente.
- La tasa de precipitación anual es menor a un mm y la evaporación promedio alcanza a 7 lt/m<sup>2</sup>/día.
- Diferentes procesos, con distintos requerimientos de calidad permiten reciclar las aguas, tanto de operación como del uso doméstico, estas últimas son tratadas mediante sistema de lodos activados.



Figura 31. Rueda de Moldeo.

Privilegiar las opciones de reciclaje por sobre el uso de agua fresca:

- El agua subterránea es un recurso escaso cuya disponibilidad en el largo plazo no está claramente determinada.
- El uso de agua reciclada de la ciudad de Antofagasta impacta positivamente al Medio Ambiente Marino evitando su descarga.

La principal fuente nueva de suministro de agua para Fundición Altonorte es el agua servida de la ciudad de Antofagasta, que después de ser tratada por la Empresa Biwater es impulsada hasta 550 mts sobre el nivel del mar llegando finalmente a la Fundición, a través de una línea con capacidad para 120 lt/seg y de 50 Km. de longitud. Esta instalación ha permitido que la Empresa Biwater pueda disponer de agua para otros interesados en ubicarse en el Sector de La Negra aledaño a la Fundición, favoreciendo así un importante polo de desarrollo para la Región. Existen a la fecha varios proyectos

de desarrollo Industrial en estudio e incluso en ejecución.

Otra fuente de suministro actualmente utilizada es el agua obtenida por Minera Escondida Ltda. después de filtrar el concentrado, que transporta como pulpa vía mineroducto desde la mina hasta Coloso. Es bombeada hasta los terrenos de fundición Altonorte y usada en la planta de flotación de escoria.

Prácticas de Reciclaje en Fundición Altonorte:

- Agua de purga de los sistemas de enfriamiento, es usada en los sistemas de lavado de gases y enfriamiento de escoria.
- Agua servida tratada es utilizada para riego de caminos y creación de áreas verdes.
- Recirculación de agua desde el tranque de relaves para uso en la Planta de Flotación de Escoria.
- Agua proveniente del tratamiento de neutralización de efluentes es utilizada para generar lechada de cal en el mismo proceso de neutralización.

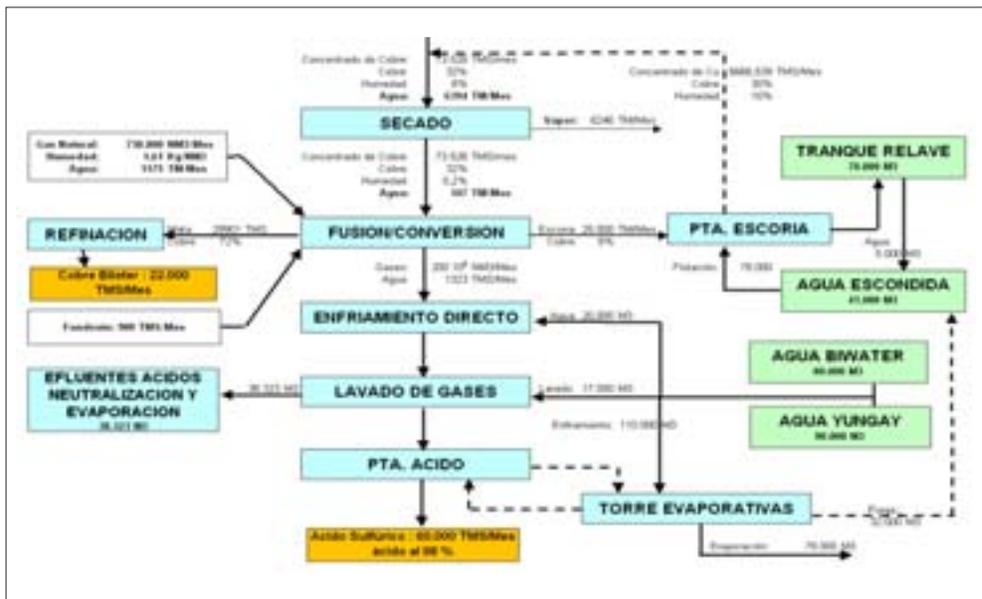


Figura 32. Diagrama de flujo proceso y distribución consumo de agua en la Fundición, una vez que se encuentre en funcionamiento el Proyecto de Ampliación Fase III.

Las prácticas aquí descritas reducen el consumo de agua fresca en una cantidad equivalente a 15 lt/seg.

#### 4.4.4 Buenas prácticas generales

El agua puede ser recuperada en distintas instancias, entre ellas: el espesaje y filtrado de relaves, los tranques de relaves, el espesaje y filtrado de concentrados, los pozos en rueda de moldeo, los convertidores Teniente y hornos Flash, el lavado de equipos e instalaciones, etc.

También pueden recircularse las aguas de refrigeración de diversos equipos, los efluentes de las plantas de cal, de escoria, de ácido, de laboratorios y de plantas termoeléctricas, las aguas tratadas en las plantas de aguas servidas y de residuos líquidos industriales (riles), etc.

En general, las faenas mineras pueden optar por uno o más de los siguientes mecanismos para el uso eficiente del recurso a nivel operacional:

En la planta concentradora:

- Instalar espesadores de alta densidad para las colas del concentrado.
- Instalar filtros a presión en planta concentradora.
- Privilegiar el transporte hidráulico del concentrado.

En los tranques de relave (recirculación):

- Mejorar el diseño para obtener un mayor nivel de recuperación de aguas, ya que las mayores pérdidas en el tranque son por evaporación y retención.
- Cubrir el fondo y muro del tranque con material impermeable como grava, arcilla o ripios de lixiviación.
- Acumular los finos en el fondo del tranque para impermeabilizarlo y evitar infiltración.
- Instalar un dren basal en los tranques para disminuir las pérdidas por filtración, aumentar la estabilidad sísmica.

- Instalar espesadores de relaves, tipo Hi-Cap, para aumentar la concentración en peso de la pulpa de relave a transportar.

- Realizar filtrado de relaves.

En las pilas de lixiviación:

- Instalar un sistema de riego inmediatamente bajo superficie para evitar evaporación.
- Asegurar la estabilidad sísmica de las pilas.
- Construir drenes basales, drenes intermedios y tuberías drenantes.

Otras prácticas de carácter general para aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico son las siguientes:

- Cubrir las piscinas de soluciones de proceso mediante cubiertas flotantes para evitar la evaporación.
- Automatizar las salas de bombas y los molinos, entre otros.
- Instalar sistemas de detección de fugas.
- Realizar la carga a estanques, camiones aljibes e instalaciones, con procedimientos adecuados para evitar derrames.
- Utilizar válvulas para interrupción de suministro, con el objetivo de evitar pérdidas de agua en caso de emergencias.
- Optimizar el riego de caminos: El regadío debe cubrir como mínimo la mitad del ancho del camino, se debe efectuar en horas de baja evaporación y de alto tráfico vehicular. También se pueden construir superficies asfálticas o realizar estabilización química de los caminos.
- Optimizar el riego de áreas verdes: El riego por goteo es una de las alternativas de menor consumo del recurso. También pueden utilizarse plantas que presenten menores demandas de agua.

- Incentivar el ahorro en la utilización del agua para consumo doméstico.
- Establecer valor al agua, es decir, implementar una política de tarificación de aguas e información de consumos. De este modo, los usuarios se preocupan en mayor medida de sus consumos. Esta actividad requiere:
- Incorporar medidores de flujo a los principales consumidores.
- Medición de los consumos de agua para identificar las necesidades actuales de los diferentes usuarios e informarles periódicamente de los resultados.
- Estudiar la información existente para elaborar un diagrama de proceso de acuerdo a los requerimientos de cantidad y calidad del agua (flow-sheet de distribución y consumo de agua).
- Monitorear y registrar el consumo por áreas y estimar las pérdidas.
- Establecer "multas" por sobre - consumo y "premios" por logros alcanzados, dando un sentido más positivo al ahorro del recurso.

#### 4.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La complejidad del tratamiento de aguas está en función del grado de impurezas o de la calidad del agua con la que se cuenta. Mientras más baja sea la calidad del agua a tratar y más alto sea el requerimiento de pureza en la aplicación del agua, más complejo será el proceso de tratamiento y por lo tanto, más costoso.

El tratamiento del agua residual industrial implica devolverle las características necesarias para que pueda ser reutilizada en los mismos procesos industriales donde se generó, en otros procesos diferentes o para ser dispuesta directamente en el medio ambiente.

Desde el punto de vista económico, la clave es identificar la calidad del agua mínima necesaria que se debe restaurar, es decir, sólo lo suficiente para su reutilización, ya que de esta forma se reducen los costos de procesamiento al mínimo y se incrementa la factibilidad de su reutilización.

En general, se tiende a pensar que lo ideal es que la calidad del agua entregada a los procesos productivos y de las aguas descargadas al medio ambiente sea "potable". Sin embargo, es evidente que no todos los procesos requieren de la misma calidad de agua y menos aún, que ésta sea "potable". Por lo tanto, al romper con el paradigma de la necesidad de agua potable, se abren nuevas oportunidades en materia de reutilización y tratamiento de aguas residuales, a valores más accesibles para las empresas.

Algunas de las tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas residuales son: hidrociclones, centrífugas, sedimentadores, filtros perpendiculares y filtros de membrana, entre otras. Todas tienen el objetivo de separar algún tipo de sólido o líquido del agua residual.

#### 4.6 USOS ALTERNATIVOS Y DISPOSICIÓN DE EXCEDENTES

No todas las aguas descargadas por los diferentes procesos pueden ser reinsertadas al circuito productivo. Por razones de distancia, características geográficas o del proceso mismo, muchas veces las faenas prefieren dar un uso alternativo a los excedentes, ya sea, manteniendo áreas verdes, devolviendo las aguas a cauces naturales de modo que puedan ser empleadas por terceros o bien, disponiéndolas directamente en el medio ambiente, previo tratamiento.

En todos los casos, los efluentes deben ser sometidos a una estricta evaluación y a un control periódico, que aseguren que su calidad no impactará negativamente en el medio en el cual serán descargados y que, efectivamente,

puedan ser utilizados en el destino que se les ha asignado.

Las mejores prácticas al respecto consideran evaluaciones técnicas, económicas y sociales para determinar la posibilidad de abastecer a terceros en una cantidad y calidad adecuada del recurso. Cuando ello no es posible, la mantención de áreas verdes se constituye en la alternativa siguiente, en lo que a imagen corporativa respecta.

A continuación se entregan algunos ejemplos de diferentes formas de utilización de las aguas recuperadas:

- El agua recuperada de los relaves es reutilizada como agua de proceso y se destina a piscinas de reserva y a estanques de almacenamiento para uso en faenas industriales, principalmente en la planta concentradora.
- El agua recuperada desde drenes del tranque de relaves también puede ser enviada a clasificación de relaves en el muro del tranque para dilución.
- El agua recuperada desde espesamiento y filtrado de concentrados se destina a piscinas de aguas recuperadas y proceso, riego de áreas verdes y planta concentradora.
- Tanto los residuos líquidos domésticos como los industriales, previamente tratados, pueden ser recirculados al proceso para ser utilizados en forma industrial en la planta concentradora y en el riego de caminos y áreas verdes.

El Caso de Estudio que se presenta a continuación, muestra la experiencia exitosa de CODELCO - Chile División El Teniente en el "Uso de Aguas Claras de Relave del Embalse Carén en el Sistema Agropecuario".

**Caso de Estudio N°7: "Uso de Aguas Claras de Relave del Embalse Carén en el Sistema Agropecuario"**

**Preparado por CODELCO - Chile División El Teniente**

## Antecedentes Generales

Los "relaves de cobre" provienen de un proceso predominantemente alcalino, situación que permite generar desechos de características físico-químicas definidas. Es decir, corresponden a una mezcla alcalina de sólidos en suspensión cuyos componentes solubles principales son los aniones sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) y molibdatos ( $\text{MoO}_4\text{-2}$ ) y el catión  $\text{Ca}^{+2}$ , que sedimenta en los depósitos de disposición final. Debido a la alcalinidad de esta mezcla ( $\text{pH} = 8 - 11$ ) es posible asegurar que el resto de elementos y metales pesados que pudiesen estar presentes en estos relaves se encuentran precipitados y coprecipitados. Por lo tanto, una vez que se depositan estos sólidos en suspensión acuosa, se genera un residuo líquido denominado "agua clara de relave" que, si no es posible reciclarlo dentro del proceso industrial, genera un excedente que debe ser evacuado al medio ambiente.

Dadas las características físico químicas de esta agua residual, que sobrepasan los estándares de la actual Norma de Riego NCH 1333 en molibdatos y sulfatos y, en conocimiento de que ambos componentes no presentan en sí riesgos deletéreos para los cultivos, la División El Teniente de CODELCO - CHILE inició una investigación sobre el posible aprovechamiento de estas aguas en el sector agropecuario, con el propósito de evaluar el uso potencial de estas fuentes hídricas en riego y, de ser posible su aprovechamiento, incrementar la productividad del rubro agropecuario en zonas donde la principal restricción para un mayor desarrollo agroeconómico es la escasez de agua de riego. Tal es el caso del "Valle de Alhué" en la Hoya del río Rapel.

## Desarrollo y Resultados de las Investigaciones

Los estudios sobre el uso potencial de aguas claras de relave en riego, han considerado experiencias de terreno y de laboratorio, donde se ha estudiado detalladamente la respuesta del componente edáfico a esta fuente de riego, así como el efecto del agua clara en la cadena trófica: vegetales y animales.

El seguimiento de parámetros químicos, relacionados con la caracterización de esta fuente hídrica, se ha realizado mediante muestreos periódicos o monitoreos de los sistemas:

- Edáfico: primeros cuatro horizontes del perfil estratigráfico.

- Vegetal: tejido comestible (fruto) y foliar de diferentes especies vegetales de uso agrícola y forrajero.
- Pecuario: representado básicamente por dos grupos de animales; rumiantes (ovinos y bovinos) y monogástricos (conejos y cobayos).

Tipo de cultivo	Especie	Rendimiento Est.experim	Rend. Frecuente	Unidad
Forrajeras	Alfalfa heno	24.000	15.000	Kg/ha
	Maiz	120	84	qqm/ha
	Avena (m.s.)	15.000	8.000	Kg/ha
Cultivos y Hortalizas	Frejol	22	13	qqm/ha
	Arvejas	20	17	qqm/ha
	Papa	302	180	qqm/ha
	Repollo	19.000	18.000	unidades
	Lechuga	90.800	70.000	unidades
Frutales (variedades de exportación)	Durazneros	18.000	16.000	Kg/ha
	May Crest	25.000	20.000 - 25.000	Kg/ha
	Flavor Crest	21.000	25.000	Kg/ha
	Elegant Lady			Kg/ha

Tabla 11. Producción promedio obtenida en especies vegetales regadas con agua clara de relave

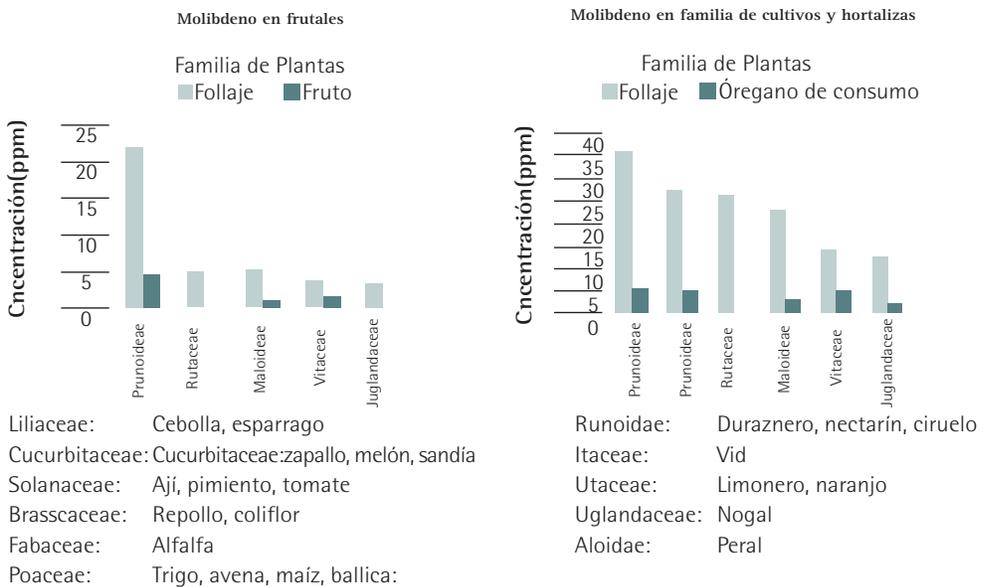


Figura 33. Contenido de molibdeno en especies cultivadas.

Paralelamente a este monitoreo, se ha mantenido un registro permanente de la productividad ecosistémica representada por las variables sintéticas: vegetales y animales, durante 10 años de seguimiento. De manera complementaria se han realizado estudios específicos en suelo, mediante simulación de riego en columnas de lixiviación y ensayos en vegetales, mediante empleo de macetas y cultivos hidropónicos, donde se ha evaluado separadamente la respuesta de los componentes edáfico y vegetal frente al uso de agua clara de relave en riego.

En la Tabla 11, se entregan antecedentes productivos para diferentes especies sustentadas exclusivamente con agua clara de relave. Estos valores se comparan con los rendimientos frecuentes para el sector donde se han desarrollado las experiencias (zona central del país). Con relación a las concentraciones de molibdeno en especies cultivadas, los estudios indican que los órganos de consumo presentan menores contenidos del elemento con relación al follaje y alcanzan niveles cercanos a los 3 ppm, citados por bibliografías como adecuados para vegetales (Figura 33).

Con respecto al sistema pecuario, en la Tabla 12, se presenta parte de los resultados productivos para ovinos de raza "Merino Precoz Alemán" y se comparan con un plantel productivo, de la misma raza, pertenecientes a la Estación Experimental Hidango INIA, con un manejo productivo similar al del ensayo,

sustentado sobre la base de praderas naturales mejoradas y trébol más falaris.

En estos resultados se observa que la relación crítica Cu:Mo<2 citada en bibliografía como perjudicial para animales ovinos, no se verifica en la práctica con antecedentes productivos iguales y superiores al plantel experimental de ovinos de Hidango. Tampoco se han observado síntomas de hipocuprosis en ovinos y bovinos sustentados con distintas especies forrajeras (alfalfa, maíz y avena) regadas con agua clara de relave, donde la única especie que mantiene contenidos de Mo superiores a los 3 ppm, citados según bibliografía como rango superior comúnmente observado en tejido vegetal, es la alfalfa. Similar respuesta se ha obtenido en animales monogástricos (conejos), sin presentar alteraciones productivas como respuesta a la dieta rica en molibdeno.

Estudios posteriores realizados en corderos y cobayos han demostrado además que concentraciones de 13 ppm de Mo en heno (relación Cu:Mo = 1,4), en respuesta a riego con agua clara de relave que contiene entre 1 a 1,2 ppm de Mo, no produce efectos en la productividad con resultados comparables a animales que consumen heno con niveles de 1,5 ppm de Mo (relación Cu:Mo = 10,6) (tablas 13 y 14).

Existen antecedentes bibliográficos que señalan al molibdeno como un elemento sin efectos tóxicos para la salud humana. Estudios de laboratorio indican que la ingesta oral, el

Año de estudio	Relación Cu:Mo	Parición		Prod. lana (kg/animal)
		Simple	mellicera	
1991	2,1	68,2	33,3	2,8
1992	0,54	94,9	24,3	3,4
1993	0,95	91,7	29,5	3,2
Hidango*	> 2	89,9	21,2	2,8

Tabla 12. Antecedentes productivos en ovinos sustentados con agua clara de relave del embalse Carén

\*Nota: se asume que la dieta proveniente de pradera natural presenta una relación Cu:Mo>2

Tratamiento (dieta)		Lana g/animal	Rendimiento de canal (%)	Ganancia de peso (Kg/día)	Eficiencia conversión KgMS/Kg/PV	Relación Cu/Mo
Agua de bebida	heno					
Relave	externo	1.589,8	57,6	0,2	6,7	6,1
	predial	1.365,8	51,2	0,2	7,9	1,4
Pozo	externo	1.659,0	56,6	0,2	7,6	10,6
	predial	1.498,0	59,2	0,2	6,9	1,5

Tabla 13. Resultados de parámetros productivos en corderos

Heno predial: Alfalfa con agua de relave

Heno externo: Alfalfa con agua de uso agrícola

contacto directo con piel y ojos; y la inhalación de diferentes concentraciones del elemento, no causa efectos deletéreos o daños que indiquen posible toxicidad del molibdeno para seres humanos. Estos resultados se confirman al considerar que la Organización Mundial de la Salud, a través de Codex alimentarius, no regula el molibdeno en la dieta.

### Conclusiones

Los óptimos resultados del estudio en animales en la Estación Experimental Loncha se han validado en un fundo de uso comercial, aproximadamente a 2,5 Km aguas abajo del Embalse Carén, denominado Fundo Las Bandurrias. En este predio se ha mantenido por más de siete años una explotación pecuaria de bovinos de carne, raza Hereford, alimentados con forraje de alfalfa regado con agua clara de relave suplementada con silo de maíz y avena

obtenidos de este mismo predio. Los animales además han utilizado como única fuente de bebida el agua clara de relaves proveniente del embalse. Los registros productivos verifican conclusiones de los estudios en la Estación Experimental y validan información respecto a la ausencia del cuadro de hipocuprosis con dietas que presentan una relación Cu: Mo < 2. Se concluye de los estudios en el sistema animal que es posible mantener una explotación ganadera comercial mediante el uso de agua clara de relave como fuente de bebida y de riego para diferentes especies forrajeras.

Del estudio sobre potencial uso de aguas claras de relave en el sistema agropecuario se concluye que es posible regar con esta fuente hídrica y obtener resultados productivos adecuados para una explotación agrocomercial. La limitación actual de esta alternativa está dada por la normalización de calidad de aguas de riego, las cuales responden a requerimientos foráneos

Tratamiento (dieta)		Peso (gr)		Relación Cu/Mo
Agua de bebida	heno	crías a los 90 días	reproductoras	
Relave	externo	567,4	816,9	2,8
	predial	595,8	824,1	1,3
Pozo	externo	587,9	842,4	10,4
	predial	596,7	791,2	1,9

Tabla 14. Resultados de parámetros productivos en cobayos (cuyes)

Heno predial: Alfalfa con agua de relave

Heno externo: Alfalfa con agua de uso agrícola

con características nacionales e institucionales significativamente diferentes a Chile.

#### 4.7 MONITOREOS

Como se mencionó en el capítulo anterior, el monitoreo es un punto fundamental en la gestión del recurso hídrico y debe realizarse desde la etapa exploratoria hasta el cierre de la faena. Es indispensable controlar continuamente las operaciones realizadas con el fin de evaluar la eficiencia de los procesos, planificar las actividades necesarias para su optimización y mantener informadas a las autoridades y partes interesadas en general, sobre el comportamiento del sistema de gestión del recurso hídrico y el uso eficiente del mismo.

Algunas actividades que deben ser consideradas dentro de los planes de monitoreo del recurso hídrico son:

- Monitoreo de las fuentes de abastecimiento, pozos, vertientes, drenes, galerías, cuencas, etc.: registros fotográficos o filmicos del estado de ellas durante toda su vida útil, medición y registro de los caudales y calidades extraídos, monitoreo de los ecosistemas asociados, etc.
- Monitoreo constante de cuencas y subcuencas, pozos, norias y vertientes para controlar disponibilidades.
- Monitoreo del nivel de las piscinas de soluciones para evitar derrames, infiltraciones y pérdidas de agua.
- Monitoreo del acuífero desde el cual se extrae el recurso, mediante el control de niveles de agua subterránea en pozos de observación, muestreo de aguas subterráneas y modelación del funcionamiento del acuífero.
- Construcción de estaciones de aforo.
- Monitoreo de las entradas y salidas de las plantas que tratan agua, tanto para su uso interno como para su disposición final.
- Monitoreo de la estabilidad estática y dinámica de tranques de relaves, ripios, etc.
- Monitoreo de napas subterráneas para controlar la filtración de soluciones provenientes de diferentes acumulaciones de material (depósitos de relaves, pilas de lixiviación, botaderos, etc).

Las mediciones realizadas, en conjunto con la línea base del sistema hídrico, son de gran utilidad al momento de diseñar un plan de cierre adecuado. Algunos de los temas a controlar en los cierres de faena son el balance hídrico (incorporando los caudales normales y las crecidas), la estimación de las crecidas, la estabilidad de tranques de relaves y la evaluación de riesgo a largo plazo.

Cabe destacar que las prácticas durante el abandono del proceso no son necesariamente para disminuir las pérdidas o el consumo de agua, si no que se refieren a medidas preventivas ante un posible efecto negativo que pueda causar el agua remanente en el lugar, luego del término de las operaciones.

#### 4.8 NUEVAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS Y DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

Las mejores prácticas en la gestión del recurso hídrico involucran, en su mayoría, la implementación de tecnologías adicionales y un mayor control de los procesos, un cambio en la cultura operacional y un compromiso real por parte de todos los sectores involucrados.

En las Tablas 15 y 16 se resumen una serie de ideas o propuestas, algunas de ellas actualmente más factibles que otras, con el objetivo de plantear a las empresas el desafío de innovar en materia del uso eficiente del recurso, incentivando la investigación y el desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas y de gestión del agua. Cabe recordar que el recurso hídrico no sólo debe ser usado eficientemente, también se debe procurar nuevas instancias para aumentar la disponibilidad de ellos.

Tecnología	Descripción General
Control automático del sistema de espesaje	Optimizar la recuperación de aguas a través de un controlador inteligente, aumentando la densidad del relave y disminuyendo así los consumos de agua de la concentradora.
Monitoreo permanente de consumo	Controlar los consumos de agua por área operativa, realizando además auditorías internas y cobro de multas por sobreconsumo.
Recirculación de aguas desde tranques lejanos	Recircular aguas claras desde los tranques y depósitos de relaves hacia la faena.
Tratamiento por bioremediación de efluentes contaminados	Utilizar tratamientos bio-hidrometalúrgicos para precipitar en sales estables los contaminantes presentes en los efluentes de los procesos hidrometalúrgicos, utilizando filtros y prensas para recuperar agua dentro de estos procesos.
Control de drenaje de sistemas de lixiviación	Utilizar software y materiales adecuados para planificar el drenaje de los sistemas de lixiviación reduciendo las pérdidas de soluciones por infiltración, fugas o formación de bolsones de mineral saturado.
Filtrado de relaves	Utilizar filtros de banda para secar los relaves, aumentando su concentración en peso hasta un 75% y, posteriormente, conducirlos al depósito a través de correas o camiones.
Optimización de Consumos en Mina	Utilizar tecnologías y procedimientos que permitan minimizar el uso de agua en las faenas mineras de carguío de mineral, regadío de caminos y perforación.
Espesaje Extremo	Utilizar espesadores de mayor altura para producir descargas de relaves hiperconcentrados, recuperando mayor cantidad de agua, y utilizar el método de tranque inclinado para su depósito.
Molienda seca y centrifugado neumático	Moler el mineral hasta el tamaño de liberación óptimo de modo que puedan ser separadas por clasificación seca antes de entrar a flotación.
Soplado y extracción desde acuífero remanente en tranque de relaves	Extraer el agua presente en la zona saturada de tranques de relave en operación o abandonados, a través de pozos drenantes y de soplado.
Utilización de tuberías de drenaje	Utilizar un sistema análogo a los empleados en los embalses de agua y terrenos agrícolas para captar agua de los tranques de relave.

Tabla 15. Nuevas tecnologías para optimizar el consumo del recurso hídrico

Tecnología	Descripción General
Precipitación artificial	Incentivar las lluvias y aumentar el volumen de agua que descargan las nubes a través del bombardeo químico de éstas.
Embalses superficiales para crecidas	Construir embalses de agua para utilizar los recursos hídricos consuntivos eventuales provocados por crecidas hidrológicas.
Recarga artificial de acuíferos.	Utilizar zonas geológicas apropiadas para la acumulación subterránea de agua proveniente de crecidas hidrológicas.
Utilización de agua de mar	Utilizar el agua de mar como fuente de recursos hídricos.
Captación de neblina	Recolectar agua a partir del paso de neblina con alta humedad a través de una superficie determinada.
Explotación Temporal de recursos hídricos.	Ubicar recursos fósiles subterráneos para su posterior explotación en un plazo determinado.

Tabla 16. Nuevas tecnologías para aumentar los recursos hídricos disponibles.

Debido a que los costos de implementación y operación varían dependiendo de la tecnología requerida y de las características de la faena, la aplicabilidad de cada una de las opciones señaladas debe ser motivo de estudio por parte de cada empresa, de tal modo que la adopción de nuevas prácticas resulte en una contribución real en el tema de la disminución del consumo de agua fresca para la faena y no en la implementación de medidas cuyo aporte al sistema es despreciable en comparación con los costos involucrados.

A continuación se describen con más detalle algunas de las mejores prácticas propuestas, divididas en 2 grandes grupos:

- Nuevas tecnologías para optimizar el consumo del recurso hídrico.
- Nuevas tecnologías para aumentar los recursos hídricos disponibles.

#### 4.8.1 Nuevas tecnologías para optimizar el consumo del recurso hídrico

- Control automático del espesamiento

El espesamiento de pulpas (mineral molido, relaves, concentrado) puede ser totalmente automatizado mediante una adecuada instrumentación de todos los flujos, monitoreo de altura de interfase (pulpa-agua), del torque de las rastras, así como de la adición de floculante, todos ellos conectados a un controlador inteligente que optimice permanentemente la recuperación de aguas mediante comando de los sistemas de descarga, dosificación de floculantes y la posición o velocidad de giro de las rastras.

Este control automático, que sería similar a otros procesos mineros (molienda semiautógena p.e.), permite aumentar en 2% a 3% la concentración de la descarga respecto al control manual actual.

Este esquema de espesaje automatizado puede incorporarse tanto a sistemas convencionales como a sistemas ya mejorados, utilizando los mismos espesadores existentes.

Las principales ventajas del sistema son sus bajos costos de inversión y operación, y que la tecnología a utilizar es ampliamente conocida en el país. Sin embargo, requiere de una mantención instrumental permanente, además de un cambio de cultura laboral.

- Recirculación de aguas desde tranques lejanos

Corresponde a la recirculación de las aguas claras que afloran en la superficie de los tranques de relaves alejados de la planta y con una diferencia de cotas importante entre el tranque y la concentradora. Si se evalúa la recirculación de los excedentes de agua a la Concentradora, el ahorro en el consumo de agua fresca puede variar entre un 30% y 50% del total de la faena.

Entre otras ventajas, la recirculación de aguas del tranque permite un mejoramiento en la operación de concentración debido a la cal y reactivos remanentes del agua recirculada, mejora la estabilidad del tranque al reducir los volúmenes de la laguna de aguas claras y evita la compra de terrenos y costos asociados a manejos forestales / agrícolas.

Sus desventajas, el grado de complejidad y el costo de inversión del sistema, dependerán de la distancia a la que se encuentra el depósito y las dificultades geográficas que deberá sortear. Además, es necesario considerar que el transporte de aguas claras desde tranques de relaves requiere de algunos permisos ambientales, que deberán obtenerse a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

- Monitoreo Permanente de Consumos

El control de aguas de una faena minera compleja puede ser monitoreado permanentemente mediante flujómetros e integradores para cada área o centro de operación, definiendo metas de consumo de aguas, ya sea por período de tiempo o por consumo unitario, de modo de cobrar multas internas por sobreconsumos puntuales (fugas, lavados excesivos, infiltraciones o evaporación).

El monitoreo promueve un uso racional del recurso y colabora en la creación de un cambio en la cultura operacional, permitiendo ahorros de agua considerables, de hasta un 2%, en las faenas mineras complejas.

Esta alternativa utiliza tecnología ampliamente conocida (flujómetros en las diferentes secciones de la faena minera), presenta un bajo costo operacional y entrega al público la percepción de un manejo óptimo de los recursos, mejorando la imagen de la empresa en la comunidad. No obstante, requiere de inversiones relevantes en instrumentación y control, y de un cambio real en la cultura operacional.

Según el consumo de agua fresca que presente cada empresa y la posibilidad de optimizarlo, esta alternativa puede resultar más o menos conveniente. Sin embargo, dada la magnitud de los costos asociados y el volumen de agua ahorrada, sólo será aplicable a faenas mineras complejas y antiguas, dentro de un Plan de Mejoramiento Continuo.

- Filtrado de Relaves

Los relaves espesados y dispuestos en embalses mantienen aún un alto contenido de agua, que podría ser recuperado previo a su disposición en el tranque, mediante filtrado parcial o total. En caso de un filtrado total de relaves, los consumos unitarios de agua fresca pueden ser

reducidos a valores cercanos a 0.25 m<sup>3</sup>/ton tratada. Para ello se requiere de una inversión en filtros y en manejo y disposición de relaves secos (correas transportadoras / camiones).

Esta alternativa presenta grandes atractivos debido a la magnitud de agua posible de recuperar, considerando las concentraciones en peso de los sistemas convencionales y las obtenidas con un sistema de filtrado de banda. Sin embargo, los altos costos que presenta esta tecnología, debido a su reciente utilización a nivel industrial, la hacen poco rentable en la actualidad aunque sus expectativas mejoran en el mediano plazo, con la tendencia natural a la baja en los valores de inversión de este tipo de equipos.

Otro factor importante es el relacionado con los depósitos de relaves creados bajo esta alternativa, pues presentan algunos problemas de estabilidad y erosión. Además, es necesario considerar eventuales problemas de congelamiento que impiden su aplicación en la alta cordillera.

- Espesaje Extremo (Deep Thickening)

Esta tecnología de optimización de consumos corresponde a la construcción de espesadores de mayor altura que lo habitual, 15m a 20m, que permiten descargar pulpas a alta densidad (65 a 75% en relaves), logrando incrementar en un 8% la concentración en peso del relave con respecto a espesadores convencionales de alta eficiencia (15% de ahorro de agua). Las descargas de relaves hiperconcentrados deben ser impulsadas por bombas de desplazamiento positivo y el manejo de relaves en el tranque debe utilizar un método de depósito inclinado.

La alternativa es aplicable a todo tipo de relaves y el método de depósito inclinado optimiza la disposición de material en el tranque, sin embargo no se conocen aplicaciones industriales de esta disposición en países sísmicos.

El espesaje extremo de relaves corresponde a una tecnología audaz, pues requiere de la modificación de los espesadores (que serán de mayor altura), del sistema de transporte de relaves y de la disposición final de estos, lo que implica altos costos de operación e inversión, así como los riesgos de desarrollar simultáneamente 3 tecnologías novedosas.

La tecnología de espesaje extremo presenta una baja aplicabilidad para empresas mineras en operación, por la gran cantidad de modificaciones necesarias para ser implementada. En proyectos mineros nuevos o en expansiones considerables podría ser útil para optimizar los consumos de agua, sin embargo, debe conseguirse la aprobación explícita de SERNAGEOMIN para la construcción de tranques inclinados.

#### 4.8.2 Nuevas tecnologías para aumentar los recursos hídricos disponibles

Cuando las faenas ya no pueden optimizar aún más el consumo de recursos hídricos, los nuevos requerimientos surgidos de una expansión, una disminución de la cantidad de agua disponible en la fuente de abastecimiento o la necesidad de compartir el recurso existente con otros consumidores, obligan a la empresa a pensar en nuevas alternativas para disponer de recursos adicionales, entre las cuales es posible mencionar la evaluación de la factibilidad de explotación de recursos existentes en sistemas cerrados o en áreas de humedales, la utilización de embalses artificiales y reservorios subterráneos para el almacenamiento de los nuevos recursos generados a partir de crecidas naturales de los ríos o bien, a través de técnicas como la lluvia artificial.

- Precipitación Artificial

Esta alternativa corresponde al bombardeo químico de nubes para incentivar la lluvia y/o aumentar el volumen de las precipitaciones.

En el Norte de Chile ello sería factible durante la época del invierno boliviano y en las zonas en que el agua de las precipitaciones puede ser almacenada en forma eficiente (salares, arenales, etc.). Sin embargo, es necesario realizar una investigación climática para determinar el grado de confiabilidad del método en la región de interés, ya que a la fecha no ha habido resultados claramente positivos en esta materia.

Desde el punto de vista de la disponibilidad de cuencas y terrenos aptos para acumular precipitaciones en el subsuelo, en el norte de Chile existen más de 20.000 Km<sup>2</sup> de ellas y las mineras disponen, tradicionalmente, de los sistemas de captación de aguas correspondientes.

- Embalses Superficiales para Crecidas

En la zona norte y central del país, las aguas provenientes de crecidas de los principales ríos no son utilizadas y las aguas de dichas crecidas se pierden en el mar. Asimismo, los derechos consuntivos eventuales (para un 15% de excedencia) están disponibles o son de muy bajo costo de transacción. Sin embargo, ya se han construido embalses en la zona norte y la factibilidad de construir más no es tan abierta.

Las empresas mineras podrían adquirir dichos recursos para construir embalses interanuales desde los valles del Elqui al Maipo, ya sea en forma independiente o en asociación con regantes.

La construcción de embalses de mediana a gran magnitud (50-100 Mm<sup>3</sup>), similares a Santa Juana en el Valle del Huasco, posibilitaría la realización de grandes proyectos mineros o proyectos mixtos, donde el aumento de la disponibilidad de recurso hídrico no es sólo para la minería, sino que también para la agricultura, el turismo o, simplemente en forma de agua potable.

La gran desventaja que presenta esta alternativa son los altos costos de inversión requeridos para la construcción de un embalse interanual, así como las conducciones asociadas que llevarían el recurso hasta los centros de consumo. Sin embargo, el costo operativo de dichos embalses, una vez construidos, es muy reducido. También hay que considerar el alto grado de rechazo social que genera desde el punto de vista ambiental.

- Recarga Artificial de Acuíferos

En el norte del país las precipitaciones del invierno boliviano producen crecidas que escurren hasta alcanzar el mar sin haber sido aprovechadas. Las empresas mineras podrían identificar algunas zonas geológicas aptas para ser utilizadas como reservorios subterráneos e impulsar parte de esas aguas excedentes a sistemas acuíferos subterráneos naturales, ya sea estancos o semiestancos, que permitan la reutilización del agua durante un período prolongado.

Un ejemplo de aplicación podría ser la recarga artificial del arenal de Ojos de San Pedro con las crecidas hidrológicas del río Loa cada 20 a 30 años.

Este tipo de proyectos permitiría el reforzamiento de los recursos regionales, aumentando la tasa extractiva de los acuíferos del Norte Grande y mitigando los desastrosos efectos de las crecidas de los cauces nortinos. Sin embargo, el gran riesgo que presenta el aprovechamiento de las crecidas es su comportamiento probabilístico, que impide predecir con certeza las condiciones meteorológicas de cada año. Es necesario también, ver la forma de manejar los sólidos en suspensión a fin de evitar el deterioro de los sistemas de drenaje existentes.

Otro punto a considerar es la identificación, en conjunto con la DGA, de los aspectos legales que hagan factible su aprovechamiento.

- Utilización de Agua de Mar

Esta opción corresponde a captar agua de mar, a través de balsas o plataformas instaladas en roqueríos, para luego de efectuar un proceso desoxigenante en piscinas decantadoras (que eliminen la vida acuática) y posteriormente, captar y transportar el agua clara desde el nivel del mar hasta los centros de consumo mineros, a través de ductos protegidos contra el ataque corrosivo.

La naturaleza del agua de mar obliga a utilizar equipos y materiales especiales para evitar la corrosión química o incrustaciones de elementos orgánicos. Además, se debe tener presente que un 10% ó 20% del flujo debe ser desalinizado para operaciones unitarias en las cuales el contenido de cloro y sales es perjudicial.

Al respecto, se conocen experiencias industriales exitosas tanto en Chile como en el extranjero. Minera Michilla S.A., como se muestra en el Caso de Estudio N° 1, utiliza agua de mar para el beneficio de sus minerales de cobre. Asimismo, se reconocen como ventajas de esta alternativa que corresponde a un recurso hídrico ilimitado y permanente, cuyas tramitaciones legales son relativamente simples.

Sin embargo, los problemas que presenta este nuevo recurso hídrico corresponde a su alto nivel de inversiones y al posible envejecimiento prematuro del sistema, debido a que las sales presentes en el agua pueden afectar a los equipos mineros y aumentarían el consumo de cal y bolas. Además el costo operacional es importante.

La utilización de agua de mar presenta un muy alto nivel de aplicabilidad, y podría representar una de las opciones más serias para solucionar los requerimientos de agua de la minería en el corto plazo. En el caso de las faenas mineras del norte chico o zona central la utilización del agua de mar sería cuestionable por los riesgos

de contaminación por sales de las napas freáticas de valles agrícolas.

#### 4.9 CONCLUSIONES

En un país como Chile, en el cual los principales centros de la actividad minera se localizan en zonas donde el recurso hídrico es escaso, es muy importante tener presente que para mantener los niveles actuales de crecimiento de la producción se requerirá de un mayor consumo del recurso hídrico, lo cual resultará en una reducción de la disponibilidad del mismo para otros usuarios.

El uso racional y eficiente del agua con el fin de reducir el consumo por tonelada tratada y mantener niveles similares al consumo total actual a pesar del incremento de la producción, hará de la minería una actividad aún más comprometida con el desarrollo sustentable del país.

En la elaboración de este capítulo se han presentado diversas propuestas de mejores prácticas que permiten hacer un uso más eficiente del recurso hídrico desde el punto de vista operacional. En el capítulo anterior, "Gestión del Recurso Hídrico en Faenas

Mineras", se ha sugerido utilizar herramientas de gestión conocidas, como ISO 14.001, e implementarlas durante toda la vida útil del proyecto ("de la cuna a la tumba"). Una adecuada combinación de buenas prácticas y gestión debe, necesariamente, dar por resultado un proceso sistemático y continuo de mejoramiento en la eficiencia del uso del agua.

En la tabla 17, se resumen a nivel nacional, los valores actuales de consumo de agua fresca para los diferentes procesos en minería, indicando tanto el promedio país como el rango de consumo en que operan las diversas faenas nacionales. De acuerdo a los antecedentes disponibles, se estima que para las empresas de la Gran Minería chilena, en conjunto con la labor coordinadora, administrativa, facilitadora y fiscalizadora de los organismos públicos competentes, sería posible reducir en el mediano plazo los actuales consumos de agua fresca en minería en alrededor de un 30%. Las metas sugeridas de reducción de consumos unitarios se indican en la misma tabla.

Proceso	Consumo Actual m <sup>3</sup> /ton de mineral	Meta Propuesta m <sup>3</sup> /ton
Concentración	1.10 (0.40-2.30)	0.60
Hidrometalurgia	0.30 (0.15-0.40)	0.25
Otros	0.10	0.05
Promedio	0.75	0.50

Tabla 17. Consumo de Agua Fresca a Nivel Nacional: Actual y Esperado.

| Anexos

*Chile*

ACUERDO MARCO DE PRODUCCIÓN LIMPIA SECTOR GRAN MINERÍA  
BUENAS PRÁCTICAS Y GESTIÓN AMBIENTAL

*Noviembre 2002*



## 5. Anexos

### 5.1 ABREVIATURAS

°C	:	Grados Celsius
Cu	:	Cobre
DIA	:	Declaración de Impacto Ambiental
EIA	:	Estudio de Impacto Ambiental
Est.	:	Estación
Experim.:	:	Experimental
g, gr	:	Gramos
ha	:	Hectárea
Hab	:	Habitante
ISO	:	International Standard Organization
kg	:	Kilogramos
Km	:	Kilómetros
Km <sup>2</sup>	:	Kilómetros cuadrados
Km <sup>3</sup>	:	Kilómetros cúbicos
KTPD	:	Kilotoneladas por día
KWH	:	Kilowatts/hora
lt	:	Litros
m	:	Metro
m.s.n.m.:	:	Metros sobre el nivel del mar
m <sup>3</sup>	:	Metros cúbicos
Mm <sup>3</sup>	:	Millones de metros cúbicos
Mo	:	Molibdeno
NCh	:	Norma Chilena
p.e.	:	Por ejemplo
PERC	:	Planificar, Ejecutar, Revisar, Corregir
ppm	:	Partes por millón

Prod.	:	Producción
RAF	:	Refinado a fuego
Rend.	:	Rendimiento
SEIA	:	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
TMS	:	Toneladas métricas secas
ton	:	Toneladas
tpa	:	Toneladas por año
tpd	:	Toneladas por día

Instituciones:

COCHILCO	:	Comisión Chilena del Cobre
CODELCO Chile	:	Corporación Nacional del Cobre de Chile
CONAMA	:	Comisión Nacional del Medio Ambiente
DGA	:	Dirección General de Aguas
SERNAGEOMÍN	:	Servicio Nacional de Geología y Minería
SISS	:	Superintendencia de Servicios Sanitarios

## 5.2 GLOSARIO

**Acuífero:** Embalse de agua subterránea. Formación permeable capaz de almacenar y transmitir cantidades aprovechables de agua.

**Agua:** Fase líquida de un compuesto químico formado aproximadamente por dos partes de hidrógeno y 16 partes de oxígeno, en peso. En la naturaleza contiene pequeñas cantidades de agua pesada, gases y sólidos (principalmente sales), en disolución.

**Agua de Proceso:** Agua cuya calidad no es potable y su uso es industrial. Puede o no ser agua recirculada.

**Agua dulce:** Agua natural con una baja concentración de sales, o generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.

**Agua Fresca:** Agua no reciclada obtenida a través de diversas fuentes de abastecimiento naturales como pozos, embalses, escorrentías superficiales, mar, etc.

**Agua Potable:** Agua adecuada para el consumo de la población que no provoca efectos nocivos a la salud. Debe cumplir con requisitos y normas físicas, químicas, bacteriológicas que aseguren su inocuidad y aptitud para el consumo. La NCh409. Of.1984 establece los requisitos para el agua potable y su muestreo.

**Agua Recirculada:** Agua utilizada en un proceso cuya fuente es el mismo proceso u otro diferente pero con características tales que permiten su reaprovechamiento. En algunos casos, esta agua debe recibir un tratamiento previo.

**Agua salada:** Agua en la que la concentración de sales es relativamente alta (más de 10 000 mg/l).

**Agua subterránea:** Agua del subsuelo que ocupa la zona saturada.

**Agua superficial:** Agua que fluye o se almacena en la superficie del terreno.

**Aguas residuales:** Agua que contiene residuos, es decir, materias sólidas o líquidas evacuadas como desechos tras un proceso industrial.

**Aguas Servidas:** Son las aguas, generalmente de uso doméstico, que han sido utilizadas en diferentes funciones (lavados, duchas, urinarios, escusados) y comúnmente son depositadas a la red de alcantarillado pero también pueden ser tratadas y recirculadas al proceso.

**Alimentación artificial:** *sin.* recarga artificial. Aumento de la alimentación natural de agua subterránea a los acuíferos o embalses de agua subterránea suministrando agua a través de pozos, inundando o cambiando las condiciones naturales.

**Balance hídrico:** Véase también ecuación de balance. Balance de agua basado en el principio de que durante un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua.

**Botaderos:** Son lugares especialmente destinados para recibir el material estéril de la mina a rajo abierto y los rípios que se obtienen al desarmar las pilas de lixiviación.

**Calidad del agua:** Propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua.

**Caudal:** Medida del flujo. Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en una unidad de tiempo. Se mide en litros por segundo (lt/seg.) u otra unidad que involucra volumen por unidad de tiempo.

**Chancado:** Proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas triturándolas en equipos denominados chancadoras.

**Ciclo hidrológico:** Ciclo de agua. Sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la tierra y en su retorno a la

misma: evaporación del agua del suelo, mar y aguas continentales, condensación del agua en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación.

**Concentración:** Es la etapa del proceso productivo del cobre que sigue a la extracción del mineral sulfurado. En esta etapa se realiza el proceso de chancado, molienda y flotación, a partir del cual se obtiene el concentrado de cobre.

**Concentrado de cobre:** Pulpa espesa obtenida de la etapa de flotación en la que se encuentra una mezcla de sulfuro de cobre, fierro y una serie de sales de otros metales. Su proporción depende de la mineralogía de la mina.

**Concentradora (Planta Concentradora):** planta de tratamiento o beneficio de mineral, donde se produce la concentración de las partículas de minerales de cobre u otro elemento, dando como resultado el concentrado por un lado y el relave o cola, por otro.

**Conservación de recursos hídricos:** Medidas tomadas para reducir la cantidad de agua utilizada para un fin determinado y/o protegerla de la contaminación.

**Consumo de agua:** Cantidad de agua superficial y subterránea absorbida por las plantas y transpirada o utilizada directamente por las mismas en la formación de tejido vegetal, más las pérdidas por evaporación en la zona cultivada expresada en unidades de volumen por unidad de superficie. También incluye todas aquellas actividades en las que el uso de agua produce pérdidas con relación a la cantidad inicial suministrada, por ejemplo los consumos urbanos e industriales.

**Consumo unitario:** Cantidad de agua (fresca, recirculada o total) utilizada para procesar u obtener 1 unidad de materia prima o de producto, según corresponda. Por ejemplo: m<sub>3</sub>/ton mineral tratado, lt/kg Cu fino.

**Contaminación:** Alteración directa o indirecta de las propiedades biológicas, físicas o químicas de una parte cualquiera del medio ambiente, que puede crear un efecto nocivo o potencialmente nocivo para la supervivencia, la salud o el bienestar de cualquier especie viva. La contaminación puede tener una definición cultural, que no necesariamente implica un riesgo potencial para la supervivencia.

**Contaminación del Agua:** Introducción en el agua de sustancias no deseables, no presentes normalmente en la misma, por ejemplo microorganismos, productos químicos, residuos o vertidos que la hacen inadecuada para el uso previsto.

**Contaminante:** 1) Sustancia que produce el deterioro de la idoneidad del agua para un determinado uso. 2) Son todos los elementos sólidos, líquidos o gaseosos que han sido introducidos a partir de actividades del ser humano y que afectan al medio ambiente.

**Cu Fino:** Corresponde a cantidad real de cobre contenido en el producto, tanto para cátodos como para concentrados.

**Cuenca Hidrográfica:** Es el área drenada por un río y sus diferentes afluentes. Sus límites están dados por la línea de las altas cumbres de las montañas que dividen las aguas.

**Curso de agua:** Cauce natural o artificial a lo largo o a través del cual puede fluir el agua.

**Demanda de agua:** Véase también necesidades de agua. Cantidad real de agua necesaria para diversos usos durante un período dado, condicionada por factores económicos, sociales y otros.

**Densidad:** Relación entre la masa de cualquier volumen de una sustancia y la masa de un volumen igual de agua a 4°C.

**Desalinización:** Desalación. Cualquier proceso por el cual, el contenido de sal del agua se reduce lo suficiente para hacerla apta para usos humanos, animales, industriales u otros específicos.

**Desarrollo Sustentable:** "El proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras" (Ley N°19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente)

**Ecosistema:** Medio ecológico dentro del cual todas las poblaciones de una comunidad están en interacción entre ellas y con el medio ambiente.

**Ecuación de balance:** véase también balance hídrico. Ecuación que expresa el balance entre aporte, salidas y cambios en el almacenamiento en cualquier masa de agua a lo largo de un período de tiempo.

**Efluente:** Agua o aguas residuales que fluyen fuera de un embalse o de una planta de tratamiento. También se refiere a la descarga de residuos líquidos, generalmente contaminantes, provenientes desde una industria u otro recinto.

**Electroobtención:** (electrowinning, EW) Proceso electrometalúrgico donde se disponen alternadamente un ánodo y un cátodo, dentro de una solución electrolítica previamente concentrada. El proceso se realiza mediante la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad, la cual provoca que los cationes de Cu sean atraídos hacia el cátodo y se depositen sobre éste en forma metálica.

**Electrorrefinación:** (electrorefining): Proceso electrometalúrgico donde se disponen

alternadamente un ánodo de cobre blister y un cátodo inicial de cobre puro en una solución de ácido sulfúrico. A esta instalación se le aplica una corriente eléctrica continua de baja intensidad, que hace que se disuelva el cobre del ánodo y se deposite en el cátodo inicial.

**Embalse:** Emplazamiento, natural o artificial, usado para el almacenamiento, regulación y control de los recursos hídricos.

**Escoria:** (slag): Material constituido en un 90% o más por sílice y hierro, con algún contenido de cobre residual, que se separa de la mezcla fundida en el interior de hornos de reverbero o convertidores.

**Escorrentía:** Parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua.

**Escorrentía superficial:** *sin.* Flujo superficial. Parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo.

**Estación de aforo:** Véase también sección de aforo. Lugar en un curso de agua en el que se hacen con regularidad mediciones del nivel y caudal.

**Estimación de recursos hídricos:** Determinación de las fuentes, extensión, fiabilidad y calidad de los recursos hídricos para su utilización y control.

**Evaporación (de agua):** Emisión de vapor de agua por una superficie libre a temperatura inferior a su punto de ebullición.

**Evapotranspiración:** Cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración vegetal.

**Excedente de agua:** Cantidad de agua que excede a la demanda, en un embalse o sistema de abastecimiento.

**Explotación de recursos hídricos:** Desarrollo, distribución y utilización planificada de los recursos hídricos.

**Extracción por solvente:** (solvent extraction, SX) Método de separación de una o más sustancias de una mezcla, mediante el uso de solventes. En el proceso de extracción del cobre, la resina orgánica permite capturar el cobre en solución, dejando las impurezas, tales como el hierro, aluminio, manganeso y otros en la solución original. La solución orgánica cargada con cobre es separada en otro estanque, donde se la pone en contacto con electrolito que tiene una alta acidez, lo cual provoca que la resina suelte el cobre y se transfiera a la solución electrolítica, la cual es enviada finalmente a la planta de electroobtención.

**Flotación:** Proceso que permite concentrar el cobre de la pulpa de material mineralizado que viene del proceso de molienda. En las celdas de flotación se hace burbujear oxígeno desde el fondo de manera que las partículas de cobre presentes en la pulpa se adhieren a las burbujas de aire y así suben con ellas.

**Fundición:** Proceso que permite separar el concentrado de cobre de otros minerales e impurezas a través de la aplicación de altas temperaturas en hornos de reverbero y convertidores.

**Gestión de cuencas:** Utilización controlada de una cuenca de acuerdo con objetivos predeterminados.

**Hidrometalurgia:** (hydrometallurgy) Rama de la metalurgia en la cual el elemento de interés es extraído desde una solución que lo contiene. En la metalurgia del cobre, esta metodología es aplicada a los minerales oxidados, mediante la lixiviación en pilas o en bateas.

**Infiltración:** Flujo de agua que penetra en un medio poroso a través de la superficie del suelo.

**Lixiviación:** (Leaching) proceso hidrometalúrgico mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores mediante electrólisis.

**Lluvia artificial:** Véase también siembra de nubes. Precipitación de partículas de agua en forma líquida o sólida, atribuible a la acción del hombre sobre las nubes como en el caso de la siembra de nubes.

**Mineral:** (mineral, ore) Término minero que se refiere a la masa rocosa mineralizada o recurso que es susceptible de extraerse y procesarse con beneficio económico. De esta manera, se diferencia entre mineral y estéril, ganga o lastre, que no tiene valor económico.

**Molienda:** Proceso mediante el cual se reduce el tamaño del material mineralizado que viene de la planta de chancado utilizando unos equipos denominados molinos.

**Necesidades de agua:** Véase también demanda de agua. Cantidad de agua necesaria para garantizar las demandas conocidas o estimadas para un período dado.

**Percolación:** *sin.* Filtración. véase también infiltración. Flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo de agua en el suelo, bajo la acción de la gravedad.

**Pérdidas de agua:** 1) En un balance hídrico, suma de las pérdidas de agua en determinado terreno durante cierto tiempo por transpiración de la vegetación (cultivos o vegetación natural) y desarrollo del tejido vegetal, por evaporación de las superficies de agua, humedad del suelo y de la nieve, y por intercepción.

**Pérdidas por infiltración:** Pérdida de agua por infiltración en el suelo desde un canal u otra masa de agua.

**Planta:** Se refiere a todas las instalaciones industriales en que se realizan los procesos de beneficio de mineral para la extracción de la especie de interés como el cobre, oro y plata. También se denomina planta a las instalaciones industriales donde se realizan algunos procesos, como por ejemplo, planta de chancado, planta de filtros, etc.

**Porcentaje de sólidos:** Cantidad de sólidos contenidos en una pulpa.

**Pozo:** Agujero o perforación, excavado o taladrado en la tierra para extraer agua.

**Producción Limpia:** Concepto que internaliza la variable ambiental como parte de una estrategia de gestión empresarial preventiva, aplicada a productos, procesos y organizaciones del trabajo, poniendo énfasis en una mayor eficiencia de utilización de los recursos materiales y energéticos, de modo de incrementar simultáneamente la productividad y la competitividad.

**Recarga de un acuífero:** *sin.* alimentación. Proceso por el cual se aporta agua del exterior a la zona de saturación de un acuífero, bien directamente a la misma formación o indirectamente a través de otra formación.

**Recirculación:** Proceso que apunta a volver a utilizar algo en un mismo proceso, es decir, el agua se vuelve a utilizar en el mismo proceso que la eliminó o en otro de la misma faena.

**Recursos hídricos:** Recursos disponibles o potencialmente disponibles, en cantidad y calidad suficientes, en un lugar y en un período de tiempo apropiados para satisfacer una demanda identificable.

**Relave:** (Tailing) corresponde al residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación.

**Requerimiento de agua** (abastecimiento): Cantidad de agua necesaria para que se realice una actividad o proceso, o para que pueda funcionar una faena.

**Riles:** Abreviatura de "residuos industriales líquidos".

**Ripios:** (tail) Se refiere al material que queda como residuo una vez que todo el cobre ha sido lixiviado. Corresponde a la cola del proceso de lixiviación y se desecha en áreas especiales o botaderos de ripios.

**Salinidad:** Medida de la concentración de sales disueltas, principalmente cloruro de sodio, en agua salina y agua del mar.

**Sección de aforo:** *sin.* sección de medición. véase también estación de aforo. Sección transversal de un cauce abierto en el que se realizan mediciones de velocidad y profundidad.

**Siembra de nubes:** Véase también lluvia artificial. Introducción de partículas de un material apropiado (por ejemplo dióxido de carbono, yoduro de plata) en una nube con la intención de modificar su estructura y provocar su disipación o precipitación.

**Sistema de abastecimiento de agua:** Todos los embalses, bombeos, tuberías y obras necesarias para suministrar agua en cantidad y calidad adecuada para los distintos sectores de consumo.

**Sistema de explotación de recursos hídricos:** Véase también sistema hídrico. Grupo de estructuras hidráulicas y entidades hidrológicas relacionadas, que se destinan a uno o más fines y se explotan conjuntamente.

**Sistema hídrico:** Véase también sistema de explotación de recursos hídricos. Grupo de entidades hidrológicas relacionadas que se comportan como un todo.

**Sobreexplotación:** Cantidad de agua extraída de un sistema de recursos hídricos que excede la extracción óptima.

**Toma:** Obra cuyo propósito es controlar, regular, derivar y admitir agua directamente, a través de un conducto de toma construido aguas arriba.

**Uso no consuntivo:** Uso del agua que tiene lugar en la propia corriente por ejemplo, la generación hidroeléctrica, la navegación, la mejora de la calidad del agua, la acuicultura y para fines recreativos.

**Utilización del agua:** Aprovechamiento del agua. Utilización o alteración de la condición natural del agua con la intención de aumentar la producción de bienes y servicios.

5.3 RESUMEN DE LEGISLACIÓN APLICABLE

N°	Identificación de la Normativa	Campo de Aplicación	Fiscalizador
1	D. F. L. N° 1 Ministerio de Salud Artículo 1 incisos 22 y 23	Autorización sanitaria para el funcionamiento de obras destinadas a la provisión o purificación de agua potable de una población o a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza y residuos industriales o mineros	Servicio de Salud
2	D. F. L. N° 1.122	Regulación y uso de los recursos hídricos. Dispone normativas y procedimientos de derechos de aprovechamiento de agua y construcción de ciertas obras hidráulicas.	Dirección General de Aguas
3	Resolución N° 186 de 1996 Dirección General de Aguas	Establece normas de exploración y explotación de aguas subterráneas	Dirección General de Aguas
4	Resolución EXENTA N° 1503 de 2002 Dirección General de Aguas	Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos	Dirección General de Aguas
5	D. F. L. N° 382 Ministerio de Obras Públicas Artículo 2	Entrega todas las disposiciones relativas a agua potable y aguas servidas.	Superintendencia de Servicios Sanitarios
6	D. F. L. N° 725 Código Sanitario Artículos 69 al 74	Aprobación de servicios de agua potable, Riles y alcantarillado o desagües	Servicio de Salud
7	D. S. N° 72 Ministerio de Minería Artículo 48	Suministro de agua potable fresca sea suficiente y de fácil acceso.	Servicio Nacional de Geología y Minas
8	D. L. N° 3.557 Ministerio de Agricultura Artículo 11 inciso 1	Protección de aguas para uso en la agricultura, la salud de los habitantes.	Servicio Agrícola y Ganadero
9	Ley N° 18.248 Código de Minería Ministerio de Minería Artículos 17 Inciso 1, 110 y 111	Regula autorización del gobernador respectivo para ejecutar labores mineras en playas de puertos habilitados y en sitios destinados a la captación de agua para un pueblo o a una distancia menor a cincuenta metros de defensas fluviales, cursos de aguas y lagos de uso público.	
10	D. S. N° 30 Ministerio Secretaría General de la Presidencia Artículos 90 al 93	Ejecutar labores mineras en los lugares en donde se hubieren alumbrado aguas subterráneas, terrenos particulares, ni en aquellos lugares cuya explotación pueda afectar el caudal o a la calidad natural del agua.	Servicio de Salud
11	Resolución N° 186 Ministerio de Obras Públicas	Establece normas de exploración y explotación de aguas subterráneas	Dirección General de Aguas
12	NCh N° 409 Of. 84 INN	Registro del agua potable y registros de calidad de aguas para diferentes usos.	Servicio de Salud
13	D. S. N° 735 Ministerio de Salud Artículos 2, 4, 6, 8 y 12	Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano	Servicio de Salud
14	NCh N° 777 Of. 71 INN	Fuentes de abastecimiento y obras de captación y requisitos generales	Servicio de Salud
15	NCh N° 1.333 INN	Requisitos que debe tener el agua para el consumo humano y animal, además de la calidad del agua para riego, estableciendo requisitos químicos y bacteriológicos.	Servicio de Salud

#### 5.4 REFERENCIAS

- [1] Guía Metodológica de Educación Ambiental para el Recurso Agua, Ministerio de Educación, disponible en:  
[http://www.dga.cl/secuencias/ninos/libros\\_applets/libro\\_mineduc/lbduc.htm](http://www.dga.cl/secuencias/ninos/libros_applets/libro_mineduc/lbduc.htm)  
<http://www.mineduc.cl/zonas/jovenes/doc/LibroAgua.pdf> y  
<http://www.mineduc.cl/centro/index.htm>
- [2] Estudio de Política Nacional de Recursos Hídricos para el Sector Minero, Comisión Chilena del Cobre, dic. 2001.
- [3] "Tendencias Recientes de Abastecimiento de Aguas para Proyectos Mineros", Gamboa D., y Rayo J., 1993, Congreso Internacional de Ingeniería en Minas, III Región, Copiapó, Chile, 15-20 Agosto 1993.
- [4] Anuario de la Minería de Chile - 2001, Servicio Nacional de Geología y Minería - Instituto Nacional de Estadísticas.
- [5] Compendio de la Minería Chilena 2002, EDITEC Ltda.
- [6] Estudio de Tecnologías Eficientes - Uso del Agua en Minería, Juan Rayo Ingeniería S.A., dic. 2001.
- [7] Gran Minería y Desarrollo Sustentable, Acciones y Reflexiones. Consejo Minero A.G., 2002.
- [8] El Mercurio de Santiago, Domingo 1° de Septiembre de 2002.
- [9] [http://acsmedioambiente.com/hechos\\_de\\_agua.htm](http://acsmedioambiente.com/hechos_de_agua.htm)
- [10] <http://www.castro-urdiales.net/WEBMEDIOAMBIENTE/sabiasque.htm>
- [11] <http://www.explora.cl/otros/agua/consumo2.html>
- [12] <http://lanic.utexas.edu/pyme/esp/infopyme/archive/julio98/articulos798/3.htm>
- [13] <http://revista.consumer.es/web/es/19991001/medioambiente/30997.jsp>
- [14] <http://www.tierramerica.net/2001/1119/noticias2.html>
- [15] "Water Management" Best Practice Environmental Management in Mining, Environment Australia, Department of the Environment and Heritage, May 1999, disponible en [www.ea.gov.au/industry/sustainable/mining/booklets/index.html](http://www.ea.gov.au/industry/sustainable/mining/booklets/index.html)
- [16] N-Ch ISO 14.001.

- [17] Artículo "Reciclaje de Aguas Residuales", Francisco J. Lozano G., Belzahet Treviño A., Emma Cortés S., Erick Rivas R., Centro de Calidad Ambiental - ITESM, disponible en [www.ecoeficiencia.com/documentos/dir1/](http://www.ecoeficiencia.com/documentos/dir1/)
- [18] Artículo "Manejo eficiente del recurso agua garantiza importantes ahorros en gestión de riles". Boletín Informativo "Programa de Prevención de Riesgos Ambientales", Mutual de Seguridad C.CH.C. Edición N°5, Año I. Santiago, Agosto 2001. [www.mutualseg.cl](http://www.mutualseg.cl)
- [19] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Cía. Minera Quebrada Blanca S.A.
- [20] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Minera El Tesoro.
- [21] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Minera Michilla S.A.
- [22] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Minera Los Pelambres.
- [23] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Minera Escondida.
- [24] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Codelco Chile, División Chuquicamata.
- [25] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Compañía Minera Zaldivar.
- [26] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Codelco Chile, División Andina.
- [27] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Codelco Chile, División El Teniente.
- [28] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Empresa Minera de Mantos Blancos, S.A., División Mantos Blancos
- [29] Encuesta "Uso Eficiente del Agua en la Minería" año 2000 - Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., División Mantoverde.
- [30] Caso de Estudio: "EMPRESA MINERA DE MANTOS BLANCOS - UN EJEMPLO DEL USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO" (Recirculación de agua en Planta Concentradora)
- [31] Caso de Estudio: "CASO MICHILLA: USO EFICIENTE DE AGUA DE MAR EN PLANTA DE PRODUCCIÓN DE COBRE"
- [32] Caso de Estudio: QUEBRADA BLANCA: "SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA DE SELLOS DE LOS CHANCADORES SECUNDARIO Y TERCIARIO"

- [33] Caso de Estudio: MINERA ESCONDIDA: "GESTIÓN AMBIENTAL EN AMBIENTES LAGUNARES PRECORDILLERANOS"
- [34] Caso de Estudio: CODELCO - CHILE, DIV. EL TENIENTE: "USO DE AGUAS CLARAS DE RELAVE DEL EMBALSE CAREN EN EL SISTEMA AGROPECUARIO"
- [35] Caso de Estudio: FUNDICIÓN ALTONORTE: "USO EFICIENTE DEL AGUA EN FUNDICIÓN ALTONORTE"
- [36] Glosario Hidrológico Internacional UNESCO, disponible en:  
<http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/HINDES.HTM>
- [37] <http://www.ecoeficiencia.com/servicios/indice/#top>
- [38] Página web de Codelco - Chile (Codelco Educa)  
[http://www.codelco.com/educa/divisiones/definiciones/f\\_definiciones.html](http://www.codelco.com/educa/divisiones/definiciones/f_definiciones.html)
- [39] Guía Didáctica de Educación Ambiental: Minería y Medio Ambiente, disponible en:  
<http://www.mineduc.cl/zonas/jovenes/doc/LibroMineria.pdf> y  
<http://www.mineduc.cl/centro/index.htm>
- [40] Página web del Consejo Nacional de Producción Limpia del Gobierno de Chile  
[http://www.pl.cl/informacion\\_pl/informpl.html](http://www.pl.cl/informacion_pl/informpl.html)
- [41] Caso de Estudio: MINERA LOS PELAMBRES: "USO EFICIENTE DE AGUAS EN TRANQUE DE RELAVES LOS QUILLAYES DE MINERA LOS PELAMBRES - 2002"





# *Participantes del Acuerdo Marco de Producción Limpia*

## **Sector Público**

Subsecretaría de Minería  
Subsecretaría de Salud  
Secretaría Ejecutiva de la Comisión Nacional de Energía  
Servicio Nacional de Geología y Minería  
Comisión Chilena del Cobre  
Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional de Medio Ambiente  
Superintendencia de Servicios Sanitarios  
Dirección General de Aguas  
Dirección Nacional del Servicio Agrícola y Ganadero

## **Industria**

Consejo Minero de Chile A.G., en representación de sus socios:  
Barrick Chile  
BHP Billiton  
Codelco Chile  
Compañía Minera Cerro Colorado  
Compañía Minera Disputada de las Condes Ltda.  
Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi  
Compañía Minera Mantos de Oro  
Compañía Minera Quebrada Blanca  
Compañía Minera Zaldívar  
Empresa Minera de Mantos Blancos  
Minera Escondida  
Minera Los Pelambres  
Minera Meridian Limitada  
Noranda Chile  
Phelps Dodge Mining Services  
Placer Dome Latin America  
SCM El Abra

