



COMISIÓN CHILENA DEL COBRE  
Dirección de Estudios

**ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE EL  
CONSUMO DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE  
AL AÑO 2012**

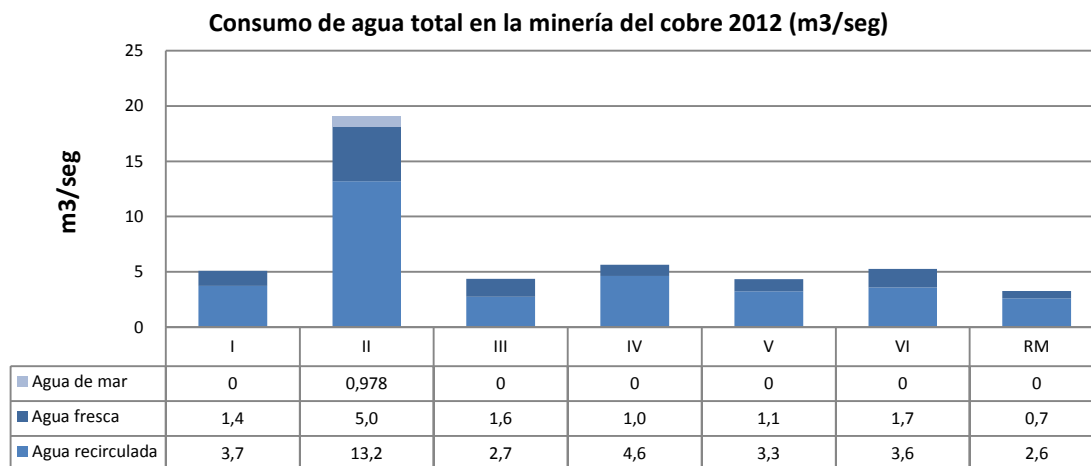
DE/06/2013

## RESUMEN EJECUTIVO

La Comisión Chilena del Cobre, en su constante preocupación por favorecer la generación de información tanto para la elaboración de políticas públicas como para apoyar la toma de decisiones de las empresas del sector, elaboró el presente informe sobre consumo de agua en la minería del cobre para el año 2012. El objetivo principal es determinar tanto el consumo global de agua fresca como los consumos unitarios por tonelada de mineral tratado. Los datos que dan base al informe se obtienen de una encuesta realizada a las principales compañías mineras de cobre desde la I Región de Tarapacá hasta la VI Región de O'Higgins, quienes de manera voluntaria hacen entrega de la información.

Los resultados indican que el consumo de agua fresca en el año 2012 alcanzó los 12,4 m<sup>3</sup>/seg<sup>1</sup>. De dicho consumo total la producción de concentrados demanda el 74%, mientras que la producción de cátodos alcanza el 11%. El 15% restante corresponde a otros usos, como agua en la mina para supresión de caminos, campamentos, servicios, entre otros.

En el gráfico se observa la cantidad de agua total utilizada en la minería del cobre, donde el agua recirculada alcanza al 74% a nivel país.



Otro aspecto que se considera en detalle es el consumo unitario por tonelada de mineral procesado para la obtención de concentrados y cátodos. Para la concentración se requiere un promedio de 0,61 m<sup>3</sup>/ton, mientras que para la hidrometalurgia es necesario un promedio de 0,10 m<sup>3</sup>/ton. También se observó el comportamiento de las faenas en función de su tamaño, de donde se desprende que las operaciones de menor tamaño en general presentan mayores consumos unitarios.

<sup>1</sup> Este resultado corresponde a la extrapolación al 100% de la producción. Cabe destacar que se obtuvieron respuestas para el 95% de la producción.

## CONTENIDO

Resumen Ejecutivo .....	1
1.    Introducción .....	3
1.1    Objetivos y alcances del estudio .....	4
1.2    Metodología utilizada.....	4
2.    El agua en la minería del cobre .....	7
3.    Extracción de agua fresca en la minería del cobre al año 2012.....	9
3.1    Extracción de agua fresca por proceso minero.....	9
3.1.1    Consumo de agua fresca por proceso minero a nivel regional.....	10
3.2    Extracción de agua fresca por región .....	10
3.3    Extracción de agua fresca por fuentes .....	11
3.4    Variación de las extracciones de agua fresca 2009-2012.....	13
4.    Coeficientes unitarios de consumo de agua fresca.....	14
4.1    Consumo unitario por tonelada de mineral procesado a nivel regional.....	15
4.2    Variación de los consumos unitarios 2009-2012 .....	16
4.2.1    Variación de los consumos unitarios por región 2009-2012.....	16
4.3    Consumo unitario de agua fresca según tipo de minería.....	18
5.    Análisis de la recirculación del recurso hídrico en minería.....	21
5.1    Agua recirculada en la faena minera.....	21
5.2    Recirculación de agua en plantas concentradoras.....	22
6.    Uso de agua de mar.....	24
7.    Conclusiones.....	27
8.    Anexos .....	28
8.1    Disponibilidad de agua a nivel regional.....	28
8.2    Glosario .....	29
8.3    Faenas que participaron en la encuesta.....	34
8.4    Definiciones relativas a la actividad minera.....	35

## 1. INTRODUCCIÓN

Las tendencias históricas en el ciclo hidrológico ya no permiten predecir su comportamiento futuro debido a los efectos del cambio climático. Las incertidumbres sobre el estrés hídrico de cada región resultan cada vez más complejas de analizar, y esto llega en un momento en que la demanda por el crecimiento de la población se está intensificando; ya sea por cambios socioculturales, los efectos de la riqueza y el crecimiento económico.

En el caso de Chile, la disponibilidad de agua se distribuye de manera desigual a lo largo del país. Mientras los habitantes de la VI Región al sur disponen de una mayor cantidad que el promedio a nivel mundial, los que viven entre la Región de Arica y la Región Metropolitana cuentan con sólo 800 m<sup>3</sup>/año/hab, monto considerado muy bajo e inferior al mínimo recomendado para asegurar un desarrollo sostenible según el diagnóstico de los recursos hídricos elaborado por el Banco Mundial y la Dirección General de Aguas (DGA) el 2011. De acuerdo al documento “La economía del cambio climático en Chile” publicado el 2012 y desarrollado por la CEPAL y el Gobierno de Chile, en el sector minero puede observarse que las cuencas donde se ubica la mayor cantidad de operaciones mineras en la actualidad, verán reducida su disponibilidad hidrológica producto de un aumento de la temperatura (y de evaporación) y de un descenso de las precipitaciones. Una medida a la que podrían recurrir las minas sería la utilización de agua de mar. Sin embargo, puede preverse un incremento de los costos de producción asociado a ello.

De acuerdo al pronóstico de disponibilidad hídrica 2012-2013 otorgado por la DGA, la situación general del país, en términos de disponibilidad de recursos hídricos, es deficitaria. La presencia de la sequía por tercera temporada consecutiva en la zona norte y centro de Chile deterioró las reservas y hacen que la situación de escasez se mantenga vigente. A nivel nacional, la situación pluviométrica nacional del año 2012 se caracterizó por presentar un invierno escaso en precipitaciones. Algo muy similar es lo ocurrido con la acumulación de nieve, la cual es baja e incluso menor a la registrada en 2011 (ver anexo 8.1).

En este escenario resulta relevante conocer el consumo de agua de los distintos actores del sector minero. Es por ello que la Comisión Chilena del Cobre realiza una encuesta, con la colaboración del Consejo Minero y la cooperación de las empresas que participaron en ella, que permite reflejar el consumo de agua en la minería del cobre desde el 2009 al 2012.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012****1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO**

El principal objetivo de este documento es determinar el consumo real de agua fresca por parte de la minería del cobre en Chile de manera local y global, por proceso y por tipo de fuente. Por otra parte se busca presentar la eficiencia en el uso del agua a través de indicadores que muestran la tendencia en los últimos años.

Respecto a las extracciones de agua fresca, éstas corresponden a aguas de origen superficial o subterráneo para las cuales la empresa cuenta con los respectivos derechos de aprovechamiento. Se entiende por agua fresca aquellas extracciones de origen superficial; como aguas lluvias, escorrentías, embalses superficiales, lagos y ríos, y aguas de origen subterráneo, como las aguas alumbradas y acuíferos, para las cuales se cuenta con los respectivos derechos de aguas y aguas adquiridas a terceros. El agua fresca cubre las pérdidas producidas a través de los procesos. Las extracciones de agua de mar y agua desalinizada, por su parte, se contabilizan separadamente. Cabe señalar que para efectos de este estudio las extracciones de agua fresca, producción y tasas de consumo se reportan como valores medios anuales.

El alcance de este análisis comprende las empresas productoras de cobre representando alrededor de un 95% de la producción nacional del año 2012, gracias a la continua colaboración de las empresas mineras que año a año han informado su consumo en cada proceso, lo que permite un análisis cada vez más acabado y riguroso.

El estudio comprende las regiones centro norte del país (de la I Región de Tarapacá hasta la VI Región de O'Higgins) en las cuales se desarrolla la mayoría de la actividad minera cuprífera y está basado en las extracciones que informan las empresas directamente a la Comisión Chilena del Cobre.

**1.2 METODOLOGÍA UTILIZADA**

Los datos son obtenidos directamente de las empresas mineras a través de la "Encuesta de producción, energía y recursos hídricos" elaborada anualmente por la Comisión desde el año 2009<sup>2</sup>.

La metodología empleada en este estudio es la misma metodología utilizada para procesar los datos del año 2011. Sin embargo, para este año la encuesta se modificó en algunos aspectos de manera de generar una encuesta única para todas las empresas y así evitar las imprecisiones que se pudieran derivar de distintas interpretaciones a los campos de datos que entregan las empresas.

---

<sup>2</sup> No obstante, persisten ciertas limitaciones respecto a la cantidad y calidad de la información proporcionada, ya sea por falta de instrumentos para su medición o precisión. Para estos casos se consideró lo explícitamente informado por la empresa.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

Con ese fin, la encuesta única se desarrolló con el apoyo del Consejo Minero, con quienes se trabajó en una mejora en las definiciones (ver anexo 8.2) de manera de aunar criterios en la obtención de los consumos relevantes del recurso hídrico en el sector. Además, se incorporó el ítem de agua de mar de manera definida para poder registrarla específicamente.

La metodología consiste básicamente en determinar el porcentaje que representan los datos de producción de la encuesta de acuerdo a la producción total según región (ver ecuación 1). Luego, en base al porcentaje de representatividad, se extrapoló el consumo de agua fresca por región, de manera de cubrir el total de las operaciones (ver ecuación 2). Para los cambios de unidades de segundos a año se utiliza el factor de conversión "f" (ver ecuación 3).

$$\text{Ecuación 1} \quad \text{Porcentaje de representatividad (\%)} = \frac{\text{Prod. Encuestas Región } i \text{ (TMF)}}{\text{Prod. Real Región } i \text{ (TMF)}} * 100$$

$$\text{Ecuación 2} \quad \text{Extracciones Agua Fresca Total Región } i \left( \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) = \frac{\text{Consumo agua Región } i \left( \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right)}{\text{Porcentaje representatividad (\%)}} * f$$

$$\text{Ecuación 3} \quad \text{Factor de Conversión } f = 365 \left( \frac{\text{día}}{\text{año}} \right) * 24 \left( \frac{\text{hrs}}{\text{día}} \right) * 60 \left( \frac{\text{min}}{\text{hrs}} \right) * 60 \frac{\text{seg}}{\text{min}} = 31.536 \left( \frac{\text{seg}}{\text{año}} \right)$$

Cabe destacar que la producción de concentrados calculada es en base a una ley anual informada por las empresas, lo que otorga resultados más generales. Esto hace una diferencia respecto a los resultados obtenidos con la ley informada mensualmente.

Los datos se procesan y clasifican para cada proceso dentro de la operación minera. Una vez que la base de datos ha sido poblada de manera exhaustiva, se analizan los datos de manera global, regional y los coeficientes unitarios, junto con las variaciones que los resultados presentan en el tiempo.

De esta manera se obtiene la demanda del recurso hídrico por parte de la minería del cobre a nivel nacional de acuerdo a la producción total de cobre fino durante el 2012. Luego de obtener esta demanda, se extrapolan los resultados regionalmente para obtener el consumo de agua para el 100% de la producción. En adelante los resultados se muestran de manera extrapolada para poder comparar con los consumos de años anteriores.

En la tabla 1 se muestra el formato de la encuesta para la sección de recursos hídricos.

## Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012

Tabla 1 Encuesta Recursos Hídricos COCHILCO

1. Fuentes de agua	unidades	2012
1.1 Agua superficial		
<i>Aguas Lluvias</i>	l/s	
<i>Escorrentías</i>	l/s	
<i>Embalses Artificiales</i>	l/s	
<i>Lagos</i>	l/s	
<i>Ríos (Cuenca)</i>	l/s	
1.2 Aguas Subterráneas		
<i>Aguas de contacto ( aguas del minero)</i>	l/s	
<i>Acuíferos</i>	l/s	
1.3 Agua Adquirida a terceros		
<i>Agua adquirida a terceros</i>	l/s	
1.4 Agua de mar		
<i>Agua desalada</i>	l/s	
<i>Agua de mar sin desalar</i>	l/s	
<i>Salares</i>	l/s	
2. Usos de Agua		
<i>Uso de Agua Total</i>	l/s	
<i>Make up Total</i>	l/s	
<i>Agua recirculada</i>	l/s	
2.1 Usos de Agua en la Mina (Hasta chancado primario incluido)		
<i>Minería Cielo Abierto</i>	l/s	
<i>Minería Subterránea</i>	l/s	
<i>Supresión de polvo en caminos</i>	l/s	
2.2 Usos de agua para procesamiento de minerales sulfurados		
<i>Uso Total de agua en la planta concentradora</i>	l/s	
<i>Uso de agua fresca en la planta concentradora</i>	l/s	
<i>Uso de agua de mar en la concentradora</i>	l/s	
<i>Uso de agua en transporte de concentrados</i>	l/s	
<i>Uso de agua en transporte de relaves</i>	l/s	
<i>Recirculación desde espesadores</i>	l/s	
<i>Recirculación desde relaves</i>	l/s	
<i>Tasa de recirculación en la concentradora (%)</i>	%	
2.3 Usos de agua para procesamiento de minerales oxidados		
2.3.1 Uso de agua fresca		
<i>Uso de agua fresca en aglomeración</i>	l/s	
<i>Uso de agua fresca en lixiviación</i>	l/s	
<i>Uso de agua fresca en extracción por solventes</i>	l/s	
<i>Uso de agua fresca en electroobtención</i>	l/s	
2.3.2 Uso de Agua de Mar		
<i>Uso de agua de mar en aglomeración</i>	l/s	
<i>Uso de agua de mar en lixiviación</i>	l/s	
<i>Uso de agua de mar en extracción por solventes</i>	l/s	
<i>Uso de agua de mar en electroobtención</i>	l/s	
2.4 Usos de agua en Fundición		
<i>Uso de agua fresca en fundición</i>	l/s	
2.5 Usos de agua en Refinería		
<i>Uso de agua en refinería</i>	l/s	
2.6 Usos de agua Servicios auxiliares y agua potable		
<i>Uso de agua en servicios auxiliares</i>	l/s	
<i>Agua Potable</i>	l/s	
2.7 Cesión o venta de agua a terceros		
<i>Cesión o venta de agua a terceros</i>	l/s	

## 2. EL AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE

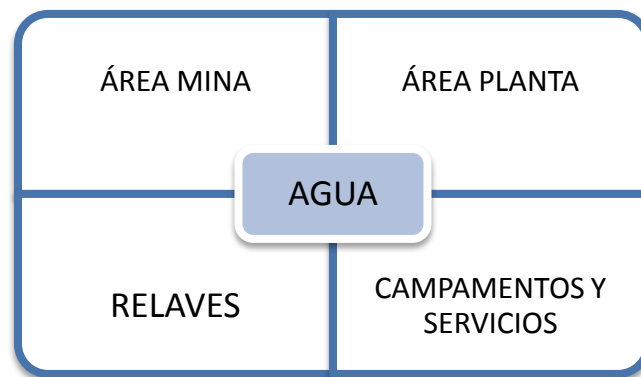
El agua es recurso escaso para el cual existe una oferta limitada y una demanda creciente para diferentes usos que, por lo general, tiende a superar la disponibilidad del recurso. A pesar de la amplia disponibilidad del recurso a nivel nacional, Chile no está libre de problemas en el escenario hídrico. El acceso al agua en la zona norte de Chile se está transformando en un recurso cada vez más escaso y como tal, la necesidad de acceder a él se hace cada vez más imperiosa.

Como hemos visto, la actividad minera constituye uno de los principales usuarios del recurso hídrico en la zona norte del país, donde cohabitan con la actividad agrícola y la población local. El crecimiento demográfico y el aumento de actividades productivas continuarán acrecentando la presión sobre la demanda del recurso hídrico. En este sentido surge la pregunta acerca de dónde se utiliza el agua en la obtención del cobre para su proceso.

El recurso hídrico es un insumo estratégico para la minería, todo proceso de beneficio de minerales requiere agua para su ejecución. El consumo de agua en la minería corresponde al uso de agua fresca para reponer las pérdidas producidas en el proceso de producción.

El agua se utiliza en los procesos de explotación y en aquellos procesos de concentración por flotación, en la fusión y electro refinación, o en el proceso hidrometalúrgico, el que consta de lixiviación, extracción por solventes y electro obtención (LX-SX-EW). Cada proceso u operación unitaria de la minería utiliza en mayor o menor medida volúmenes de agua para contribuir a su eficiencia.

Figura 1 Usos del agua en la industria minera





### Área Mina

*Minería a cielo abierto:* su uso principal de agua es en el riego de vías internas para reducir el polvo en suspensión en los caminos. Cifras disponibles indican que el agua utilizada en riego de caminos puede variar entre cero y el 15% del consumo total de agua de una operación minera.

*Minería subterránea:* el uso es reducido y el problema consiste más bien en extraer el agua natural apozada al fondo de las zonas explotadas, la que puede provenir de lluvias o de acuíferos afectados.

### Área Planta

*Plantas de concentradoras:* El procesamiento de minerales representa el mayor consumo de agua con respecto a los volúmenes totales. Involucra la trituración (chancado) y molienda del mineral, luego la flotación, clasificación y espesamiento. Según la distancia entre la concentradora y las instalaciones de filtrado y almacenaje, las aguas residuales pueden o no ser recirculadas al proceso. Cuando ello no es posible, una parte del agua se destina a uso industrial y el resto se devuelve al ambiente bajo condiciones controladas. Una parte importante del agua que se utiliza en la flotación pasa a formar parte de los desechos o relaves, jales, colas, etc., que se envían a la etapa de espesamiento para recuperar una parte del agua que contienen.

*Pilas de lixiviación:* En este proceso los principales consumos resultan como consecuencia de la evaporación de las pilas de lixiviación donde se vierte una solución ácida, de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila disolviendo el cobre contenido en los minerales oxidados.

### Relaves

Los relaves se descargan en tranques, que contienen el efluente, permiten la sedimentación de los finos en el depósito y retienen los más gruesos en el muro. Así se recupera el máximo volumen posible de las aguas, las que, cuando hay factibilidad económica, se retornan al proceso de flotación, reduciendo el consumo de agua fresca.

### Campamentos y servicios

El principal uso del agua es para bebida, cocción, lavado, riego y baños. Son volúmenes poco significativos frente al total consumido en una operación minera.

### 3. EXTRACCIÓN DE AGUA FRESCA EN LA MINERÍA DEL COBRE AL AÑO 2012

En este capítulo se presentan las principales extracciones de agua fresca por parte de la minería del cobre durante el año 2012. En primer lugar se realizará un diagnóstico de la distribución de las extracciones por proceso minero global y a nivel regional, luego un análisis de las extracciones totales de agua fresca a nivel regional, siguiendo con un sondeo según la fuente de donde proviene el agua fresca extraída, y finalmente comparar la variación de las extracciones de agua fresca desde el 2009 al 2012.

En las operaciones mineras el agua se utiliza en la transformación, el transporte, la eliminación de residuos, y en los servicios públicos. En general, los minerales con mayor nivel de leyes requieren menos agua para el procesamiento y viceversa. Con el agotamiento de los recursos, la explotación de minerales de baja ley va en aumento, lo que genera un aumento en la demanda de agua.

#### 3.1 EXTRACCIÓN DE AGUA FRESCA POR PROCESO MINERO

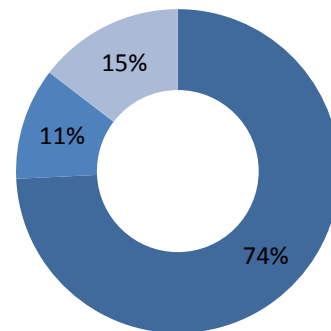
Al observar las extracciones de agua fresca de acuerdo al proceso de beneficio para la obtención de cobre, vemos que en su mayoría se utiliza en el procesamiento mediante flotación para obtener concentrados de cobre, alcanzando el 74%, ya que es más intensivo en el uso del recurso (gráfico 1).

En el caso de la obtención de cátodos mediante el proceso de hidrometalurgia, las extracciones de agua fresca corresponden al 11% del total pues su producción es menor que la de concentrados. La intensidad de uso, por su parte, es menor que la necesaria para la flotación.

El ítem "Otros" corresponde a agua en la mina, para supresión de caminos, servicios varios, campamentos y agua potable.

Gráfico 1  
Distribución de la extracción de agua fresca por proceso 2012(%)

■ Concentrados ■ Hidrometalurgia ■ Otros



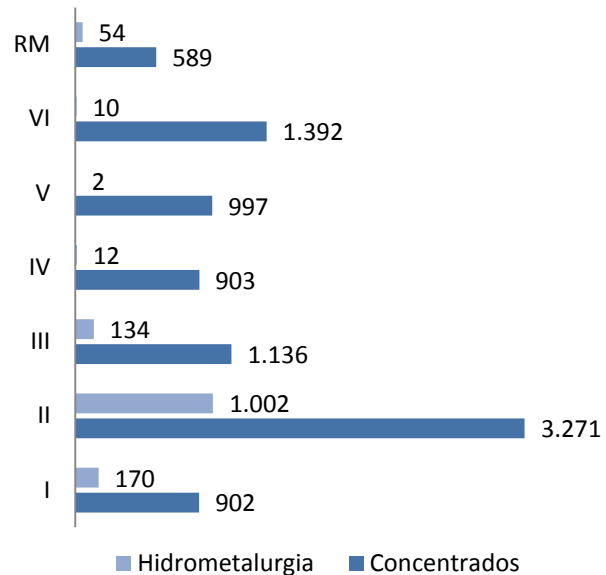
## Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012

### 3.1.1 CONSUMO DE AGUA FRESCA POR PROCESO MINERO A NIVEL REGIONAL

De la misma forma, al analizar el consumo de agua fresca por proceso en cada región, el caudal utilizado para concentrados es mayor en todas las regiones.

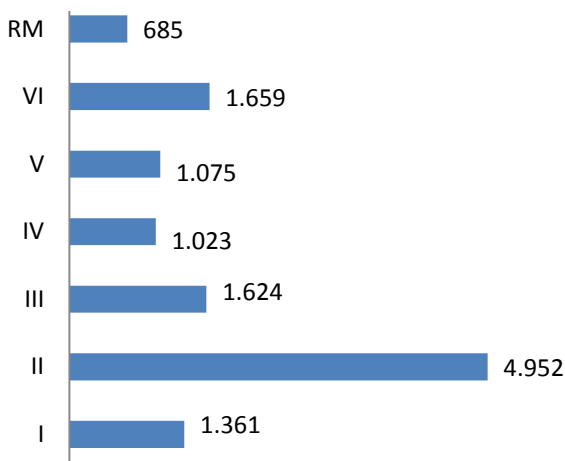
El consumo total de agua fresca en concentrados alcanza los 9.190 litros por segundo, mientras que el total de agua fresca en el proceso de hidrometalurgia es de 1.384 litros por segundo. El mayor consumo se concentra en la II Región de Antofagasta donde se desarrolla la mayor actividad minera, siendo responsable del 36% de la producción de concentrados y del 72% de la producción de cátodos de cobre a nivel nacional.

Gráfico 2  
Consumos de agua fresca por proceso productivo  
Año 2012 (lts/seg)



### 3.2 EXTRACCIÓN DE AGUA FRESCA POR REGIÓN

Gráfico 3  
Extracciones de agua fresca en la minería del  
cobre 2012 (Lts/seg)

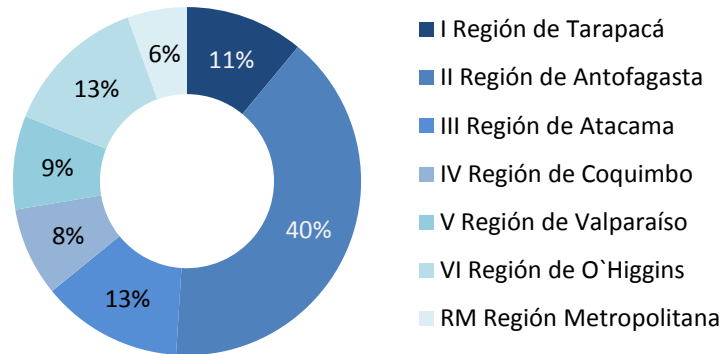


Las extracciones totales de agua fresca en el año 2012 alcanzaron los 12,4 m<sup>3</sup>/seg, lo que representa una disminución cercana al 0,2 m<sup>3</sup>/seg respecto al año anterior, que alcanzó 12,6 m<sup>3</sup>/seg.

El gráfico 3 detalla la cantidad de agua fresca extraída en cada región, donde la mayor cantidad de agua fresca se utiliza en la II Región de Antofagasta.

En el gráfico 4 se observa la distribución porcentual de las extracciones de agua fresca a nivel regional.

Gráfico 4  
Distribución porcentual de extracciones de agua fresca en la minería del cobre 2012 (%)



A nivel porcentual la II Región de Antofagasta extrae un 40% del agua fresca para la minería del cobre, seguida por la VI Región de O'Higgins y la III Región de Atacama que alcanzan un 13% del total de agua fresca extraída. Luego viene la I Región de Tarapacá con el 11%, la V Región de Valparaíso con el 9% y la IV Región de Coquimbo con el 8%, para finalizar con la Región Metropolitana que contempla el 6% de las aguas frescas extraídas para la minería del cobre.

### 3.3 EXTRACCIÓN DE AGUA FRESCA POR FUENTES

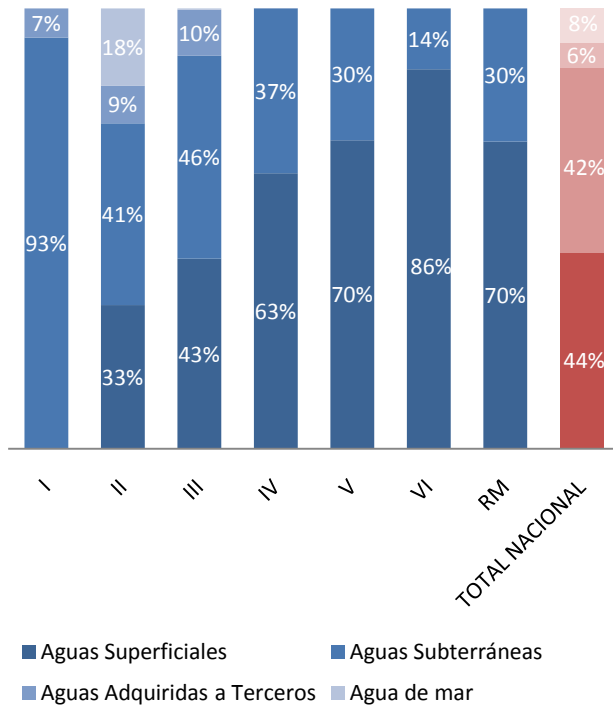
De acuerdo al glosario de definiciones realizado por Cochilco con el apoyo del Consejo Minero, se entiende por fuentes de agua fresca aquellos puntos de abastecimiento del recurso. En esta condición tenemos cuatro grandes categorías; las aguas superficiales, las aguas subterráneas, aguas provenientes del mar y agua adquirida a terceros.

Las aguas superficiales son aquellas que corren por cauces naturales como vertientes, esteros, ríos y quebradas, o se encuentran acumuladas en depósitos como lagos, lagunas, pantanos, ciénagas, y/o embalses. Las aguas subterráneas son aquellas que están ocultas bajo tierra, almacenadas en acuíferos o embalses subterráneos que requieren de labores previas de exploración. Por otra parte el agua de mar corresponde a toda agua de mar que es extraída desde la costa, ésta tiene dos vías posibles, ya sea utilizada directamente en los procesos o previa desalinización. Finalmente, la categoría de agua adquirida a terceros hace referencia a un contrato con terceros donde se compra el agua directamente.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

A nivel nacional las aguas superficiales alcanzan un 44% de las extracciones totales de agua para la minería del cobre, mientras que el agua de origen subterráneo es de un 42%. Las aguas adquiridas a terceros constituyen el 6% y las extracciones de agua proveniente del mar es de un 8% a nivel país.

Gráfico 5  
Distribución porcentual por tipo de fuentes de extracción (%)



En el gráfico 5 se observa la distribución porcentual por tipo de fuente a nivel regional. En la I Región de Tarapacá el 93% proviene de fuentes de aguas subterráneas y el 7% restante de agua adquirida a terceros. Al analizar la II Región de Antofagasta tenemos que el agua de origen superficial representa un 33%, el agua subterránea un 41%, el agua adquirida a terceros un 9%, y el agua de mar alcanza el 18%. Se destaca la importancia del alto uso de agua de mar en esta región en relación a las demás, ya que es una de las alternativas más factibles para proveer de agua a la minería en los próximos años y/o futuros proyectos.

En el caso de la III Región de Atacama el agua superficial corresponde al 43%, el agua de origen subterráneo al 46% y el 10% restante a aguas adquiridas a terceros. Para la IV Región de Coquimbo el 63% del agua es de origen superficial y el 37% es de origen subterráneo.

En la V Región de Valparaíso y la Región Metropolitana la situación es similar, un 70% de agua proviene de aguas superficiales y un 30% de aguas subterráneas. Finalmente para la VI Región de O'Higgins, las aguas de origen superficial representan un 86% de las extracciones, mientras las aguas de origen subterráneo representan el 14%, principalmente porque cuentan con derechos históricos de aguas superficiales, ajustándose a la disponibilidad de agua, sin incurrir en la compra de nuevos derechos de aprovechamiento.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012****3.4 VARIACIÓN DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA FRESCA 2009-2012**

En la tabla 2 se muestran las extracciones de agua fresca totales. Para ello se extrapoló al 100% de la producción de cada año, de manera de poder comparar los valores.

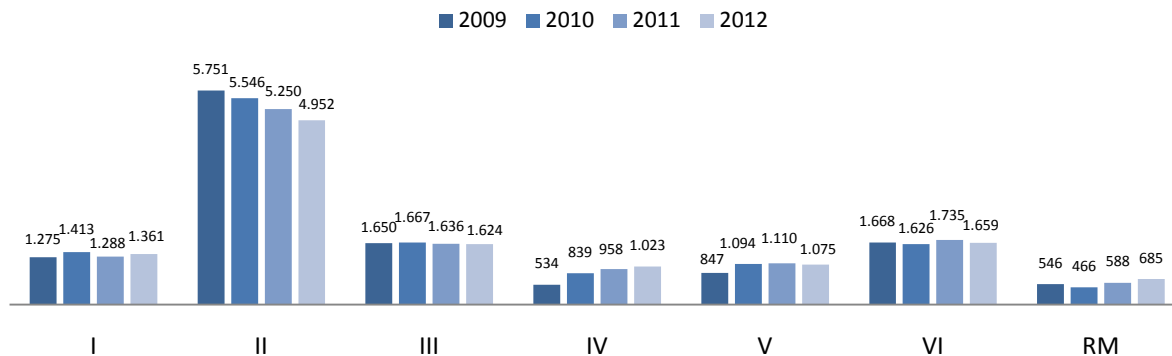
Se observa una disminución del 1,5% respecto al año anterior, lo que refleja la preocupación por la industria del cobre en disminuir los consumos de agua fresca, ya sea a través de mejoras tecnológicas en eficiencia y/o nuevas alternativas para el suministro hídrico.

Tabla 2  
Variación del consumo del agua en la minería del cobre 2009-2012 (m<sup>3</sup>/seg)

<i>Año</i>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Extracción Total (m<sup>3</sup>/seg)</b>	12,3	12,7	12,6	12,4

A continuación se observa la tendencia en las extracciones de agua fresca por región desde el año 2009 al 2012, de acuerdo a la información entregada por las empresas en la encuesta anual.

Gráfico 6  
Extracción de agua fresca entre 2009-2012 (Lts/seg)



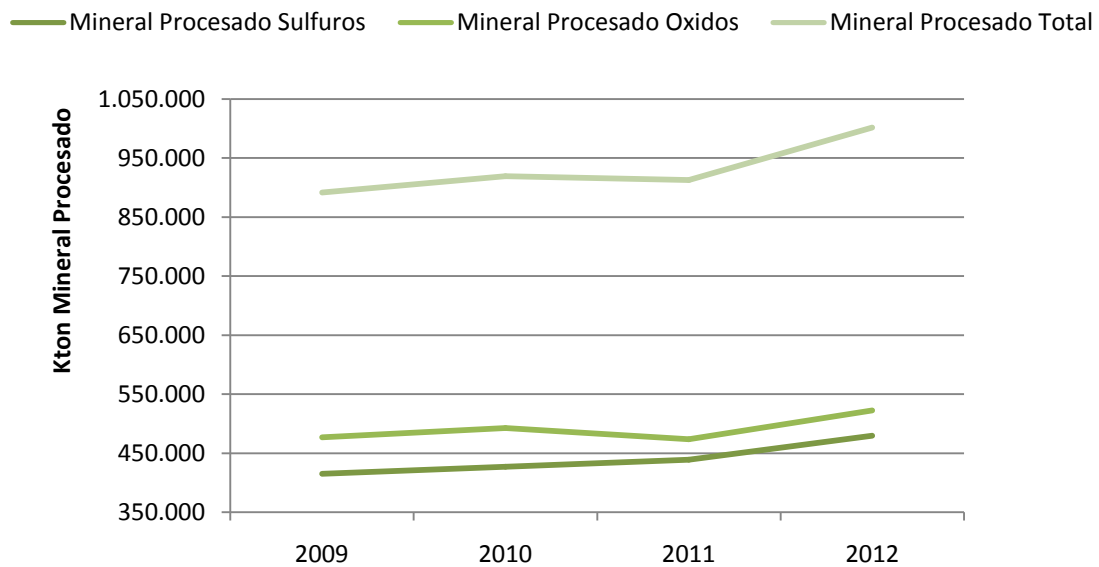
Sin embargo, es necesario comparar las extracciones en función de la cantidad de mineral procesado, ya que es el factor determinante del consumo. En el capítulo siguiente se hace un análisis de los coeficientes unitarios de consumo de agua por tonelada de mineral.

## Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012

### 4. COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE AGUA FRESCA

En el gráfico 7 se observa la evolución de la cantidad de mineral procesado anualmente en cada proceso de obtención. Como la cantidad de mineral ha aumentado, resulta necesario poder comparar la eficiencia de las plantas a través de los coeficientes unitarios de consumo de agua fresca, de manera de medir la cantidad de agua necesaria para procesar una tonelada de mineral, independiente de la cantidad de mineral que se procesa en cada faena y así poder comparar año a año la efectividad e innovación de las compañías en el uso de agua, puesto que el consumo de agua depende mayormente de factores operacionales de la planta y las pérdidas que se puedan presentar en el proceso.

Gráfico 7  
Evolución mineral procesado (Kton)



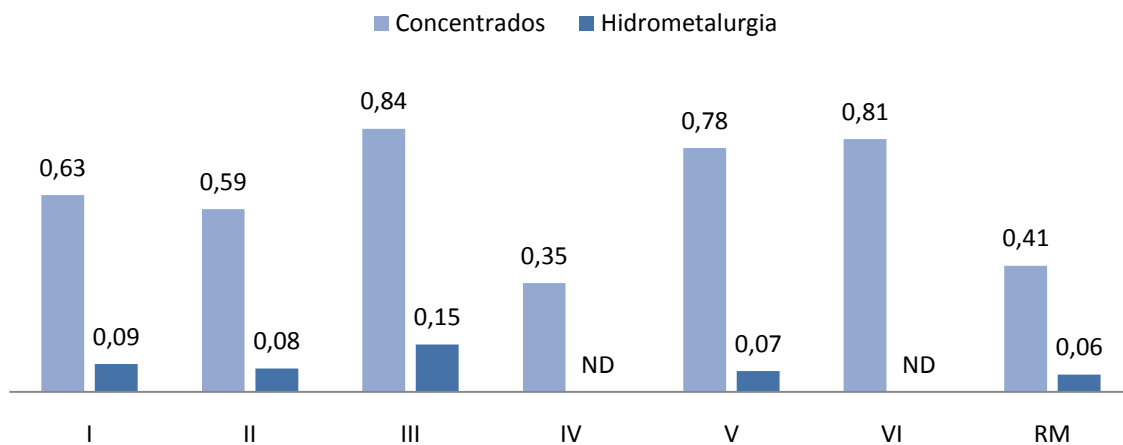
Durante el año 2012 la tasa de consumo unitario promedio para los minerales sulfurados fue de 0,61 metros cúbicos por tonelada de mineral ( $m^3/ton$ ), mientras que el consumo promedio para los minerales lixiviables fue de 0,10 metros cúbicos de agua fresca por tonelada de mineral tratado ( $m^3/ton$ ).

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012****4.1 CONSUMO UNITARIO POR TONELADA DE MINERAL PROCESADO A NIVEL REGIONAL**

La región cuyo consumo por tonelada de mineral procesado para concentrados es más bajo corresponde a la IV Región de Coquimbo, donde actualmente se vive una de las mayores situaciones de estrés hídrico, lo que obliga a las industrias a ser lo más eficientes posible con dichos recursos. Por otra parte a nivel regional es una de las zonas que presentan mayores leyes en el concentrado, lo que hace necesario menos mineral para obtener cierta cantidad de cobre fino.

En el caso de los consumos unitarios para los minerales lixiviables por hidrometalurgia el menor consumo se da en la Región Metropolitana con 0,06 m<sup>3</sup>/ton\_mineral.

Gráfico 8  
Consumo de agua fresca por tonelada de mineral procesado  
(m<sup>3</sup>/ton\_min)



Cabe destacar que ciertas faenas por razones técnicas no pueden recircular el agua desde los relaves, lo que aumenta las extracciones de agua fresca. Además la ley de cobre en el concentrado ha ido disminuyendo en el tiempo, lo que hace necesaria una mayor cantidad de agua para procesar el mineral.



**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012****4.2 VARIACIÓN DE LOS CONSUMOS UNITARIOS 2009-2012**

En la tabla 3 se observa que el consumo unitario para obtener concentrados de cobre disminuyó considerablemente respecto a los años anteriores a nivel promedio, evidenciando la reacción de la industria minera ante la escasez del recurso hídrico.

Tabla 3  
Consumo unitario promedio por proceso de obtención 2009-2012 <sup>3</sup>

<i>Proceso/Año</i>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Concentradora</b> (m <sup>3</sup> /ton mineral procesado)	0,67	0,69	0,65	0,61
<b>Hidrometalurgia</b> (m <sup>3</sup> /ton mineral procesado)	0,12	0,12	0,12	0,10

En el caso del consumo unitario para obtener cátodos también se presenta una disminución. Cabe señalar que si bien pueda seguir incrementándose la eficiencia en el consumo de agua en los procesos de hidrometalurgia por gran parte de la minería del cobre, hay diversas faenas que ya han alcanzado máximos de eficiencia en estos procesos. De hecho la cantidad de agua fresca necesaria para procesar una tonelada de mineral lixiviable, es cinco veces menor que la necesaria para producir concentrados a partir de minerales sulfurados.

**4.2.1 VARIACIÓN DE LOS CONSUMOS UNITARIOS POR REGIÓN 2009-2012**

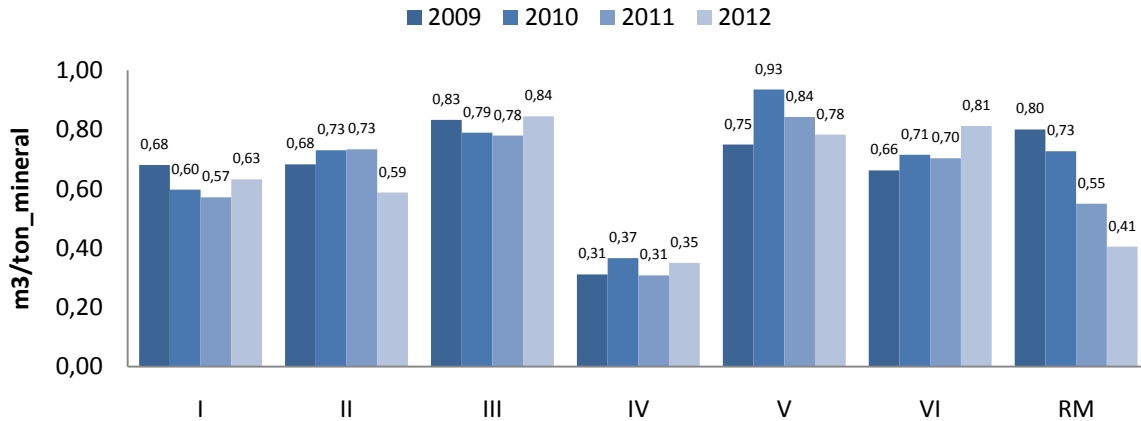
En esta sección se analiza el consumo por región, comparando los consumos unitarios desde el año 2009 al 2012. En el gráfico 9 se detallan los coeficientes de agua fresca por tonelada de mineral procesado para la obtención de concentrados, mientras que el gráfico 10 muestra el coeficiente unitario de agua fresca por tonelada procesada en minerales lixiviables.

La industria minera ha aplicado importantes políticas de eficiencia hídrica, tanto en sus procesos metalúrgicos como en la implementación de relaves espesados y en pasta, aumento de la recirculación y el uso de agua de mar, lo que a nivel nacional se refleja en una baja en los consumos unitarios.

<sup>3</sup> La tabla presenta cambios respecto al informe del 2011, por actualizaciones en los datos.

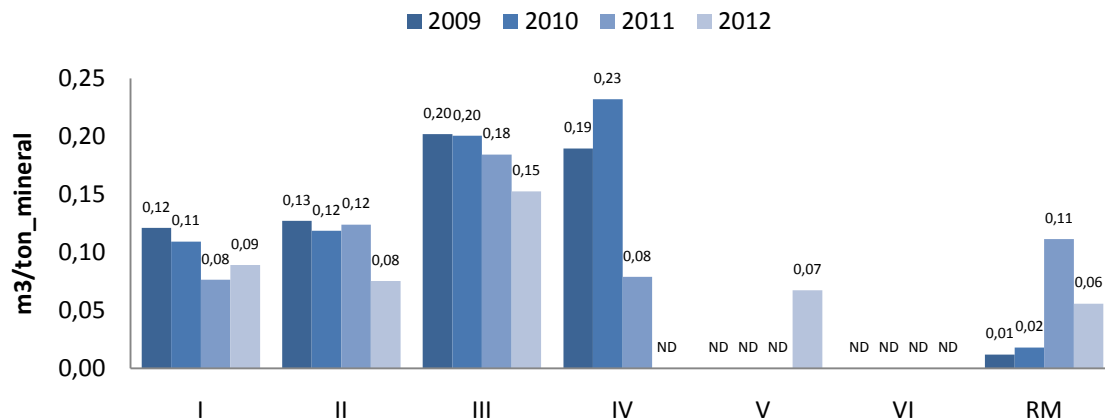
## Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012

Gráfico 9  
Consumo unitario de agua fresca por tonelada de mineral procesado para la obtención de concentrados ( $m^3/ton$ )



En la I Región de Tarapacá, la III Región de Atacama y la IV Región de Coquimbo estos índices aumentaron respecto a los otros años. En el primer caso se debe principalmente a la operación de Collahuasi, quienes vieron una importante disminución de un 38% en la producción. Para la III Región el aumento en el consumo unitario fue consecuencia de una disminución en el mineral procesado respecto a los años anteriores y a que algunas faenas presentan una mayor extracción de agua fresca en la concentradora. Finalmente para la IV Región el aumento marginal se debe a la disminución de la ley del mineral, a pesar de que las faenas en esta región presentan consumos eficientes y altas tasas de reutilización.

Gráfico 10  
Consumo unitario de agua fresca por tonelada de mineral procesada para la obtención de cátodos ( $m^3/ton$ )



En el caso de los minerales lixiviables la única región donde se percibe un aumento corresponde a la I Región de Tarapacá que se explica por un aumento en un 20% de consumo de agua fresca para la hidrometalurgia.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012****4.3 CONSUMO UNITARIO DE AGUA FRESCA SEGÚN TIPO DE MINERÍA**

En la tabla 4 se muestran los coeficientes unitarios por tamaño de minería. Para ello se consideró como gran minería aquellas empresas que producen una cantidad mayor a las 75.000 ton de cobre fino al año. Como mediana minería se consideran aquellas operaciones con capacidad de tratamiento mayor a 200 tpd de mineral, participan de la actividad de fomento del Estado, y/o venden concentrados o precipitados de cobre exclusiva o mayoritariamente en ENAMI, bajo un sistema de contratos que aseguran la compra de toda la producción. Pequeña minería se considera a las que tienen capacidad menor a 200 tpd de mineral, de acuerdo a la definición otorgada por el Código de Minería (ver anexo 8.4).

Tabla 4  
Consumo unitario por tipo de minería (m<sup>3</sup>/ton\_mineral)

<i>Tamaño/Proceso</i>	<b>Consumo unitario Concentrados (m<sup>3</sup>/ton)</b>	<b>Consumo unitario Cátodos (m<sup>3</sup>/ton)</b>
<b>GRAN MINERIA</b>	0,6	0,10
<b>MEDIANA MINERIA</b>	0,9	0,10
<b>PEQUEÑA MINERIA <sup>4</sup></b>	ND	ND

De acuerdo a la información que nos otorga el recuadro vemos como la gran minería resulta ser más eficiente en la utilización del recurso hídrico para la producción de concentrados, principalmente al lograr economías de escala que justifican económicamente la mayor aplicación de medidas para aumentar la conservación de los recursos hídricos y su reutilización en el tratamiento.

Sin embargo, es importante rescatar el uso de agua de mar en algunas operaciones de mediana minería para la obtención de cátodos, lo que permite un uso eficiente de los recursos hídricos y demuestra una vez más el compromiso del sector por disminuir el consumo de agua fresca.

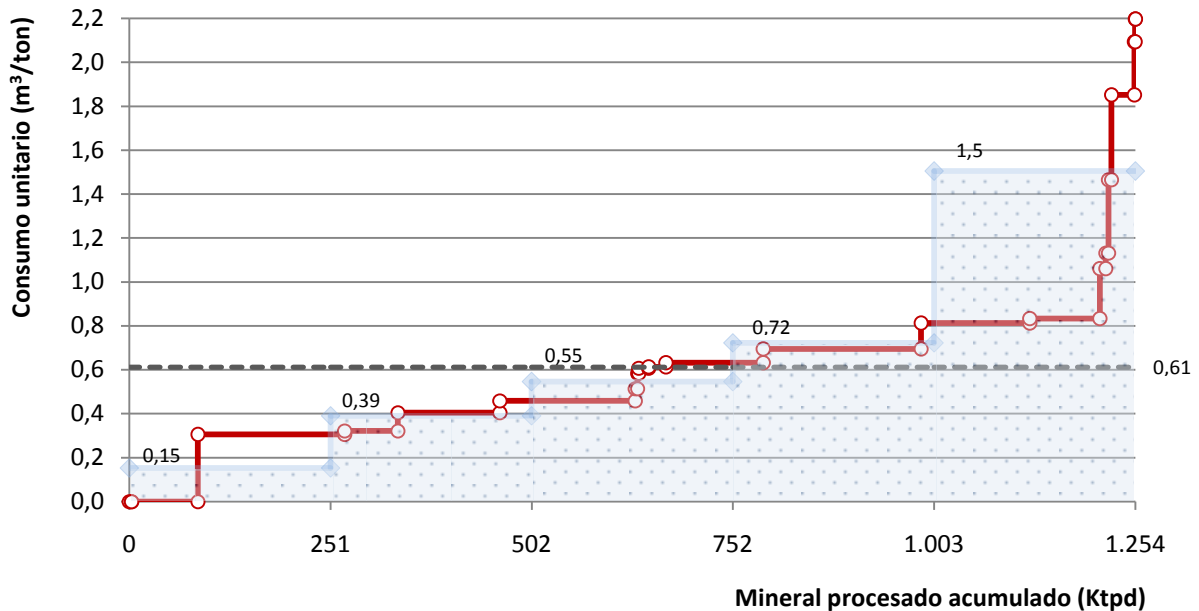
Para un mayor análisis, los gráficos 11 y 12 relacionan el consumo unitario de agua fresca con las capacidades de tratamiento de mineral de las plantas, tanto para la flotación como para la hidrometalurgia.

<sup>4</sup> Para la pequeña minería no está disponible la información, ya que corresponde a empresas que no se encuentran dentro de la muestra encuestada.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

El objetivo es analizar el comportamiento de las plantas en función de su tamaño. El gráfico 11 corresponde a la relación consumo unitario-mineral sulfurado procesado para la obtención de concentrados, mientras que el gráfico 12 muestra la misma relación en el proceso de hidrometalurgia para la obtención de cátodos.

Gráfico 11  
Relación entre el consumo unitario de agua fresca ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ) y la capacidad acumulada de tratamiento de las plantas concentradoras (Ktpd)



El total de las plantas concentradoras alcanzan un nivel de tratamiento de 1.254 Ktpd de mineral, las cuales presentaron el año 2012 un consumo unitario de agua fresca promedio nacional de 0,61  $\text{m}^3/\text{ton}$  para alimentar sus operaciones, representado por la línea punteada en el gráfico 11.

Al dividir el mineral procesado acumulado en quintiles de 251 Ktpd, se puede hacer un análisis más detallado de la influencia del tamaño de las plantas en el consumo unitario. Cada quintil es representado por el área punteada expresado en Ktpd y cuya altura corresponde al promedio del consumo unitario de agua fresca en  $\text{m}^3/\text{ton}$  de ese quintil. La línea roja expresa el nivel de tratamiento de mineral, donde la distancia de un punto a otro (distancia horizontal entre los círculos) representa el tamaño de la operación. Así mientras mayor sea la distancia entre los puntos, mayor será el nivel de mineral procesado por la faena.

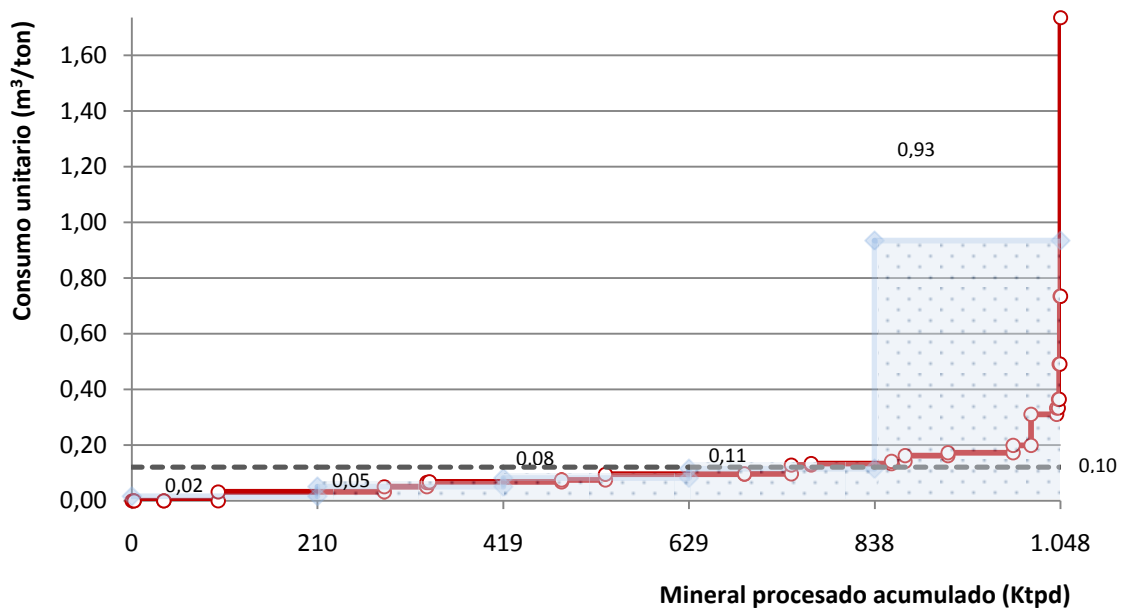
Se observa que en el primer quintil se encuentran faenas con niveles de tratamiento eficientes y un promedio de consumo muy bajo el promedio, ya que en este quintil también se encuentran aquellas faenas que utilizan agua de mar.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

En el segundo, tercer y cuarto quintil se encuentran el grueso de las operaciones con un promedio de consumo unitario que va desde los 0,39 m<sup>3</sup>/ton a los 0,72 m<sup>3</sup>/ton. Al analizar el último quintil se observa que hay mayor cantidad de empresas con capacidad de tratamiento baja, correspondiente a mediana minería, que son las que tienen mayores consumos unitarios respecto a las grandes faenas, en un rango que va desde los 0,8 m<sup>3</sup>/ton a las 2,2 m<sup>3</sup>/ton.

Esta situación se debe principalmente a la estructura de costo de las operaciones que permite optimizar el consumo de agua, o en algunos casos a factores operacionales como la dificultad de recircular las aguas desde los relaves.

Gráfico 12  
Relación entre el consumo unitario de agua fresca (m<sup>3</sup>/ton) y la capacidad acumulada de tratamiento en lixiviación (Ktpd)



Del mismo modo que el gráfico 11, en el gráfico 12 se observa la relación entre el consumo unitario de agua fresca por tonelada de mineral lixiviable. En primer lugar tenemos que el consumo unitario se encuentra en un rango entre 0 m<sup>3</sup>/seg a 1,7 m<sup>3</sup>/ton durante el año 2012, mientras el promedio alcanza a los 0,10 m<sup>3</sup>/seg.

Al separar en quintiles de 210 Ktpd el mineral procesado acumulado, observamos que los cuatro primeros quintiles se encuentran bajo el promedio. En el caso del último quintil se observan operaciones de menor tamaño, las cuales tienen un menor rendimiento por tonelada procesada, que por lo general se debe a factores operacionales como pérdidas por infiltración de las pilas de lixiviación o evaporación.

En general la minería del cobre a través de lixiviación de los minerales de óxidos ha mantenido un avance respecto al uso eficiente del recurso hídrico.

## 5. ANÁLISIS DE LA RECIRCULACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN MINERÍA

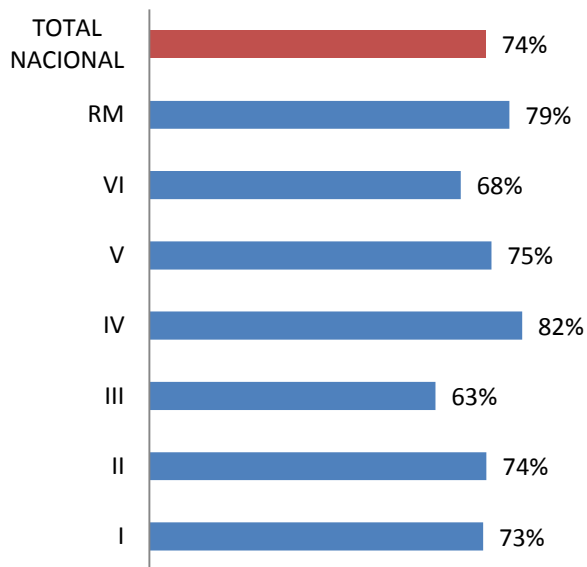
Uno de los factores de mayor incidencia en los procesos mineros es, sin duda, el agua. Esta necesidad ha llevado a la industria minera a buscar soluciones, adoptando mejores prácticas e introduciendo nuevas tecnologías para optimizar la gestión del recurso hídrico. Además, se han buscado nuevas fuentes dado el escenario de déficit.

La reutilización de agua es cada vez más importante para un rango de empresas alrededor del mundo, particularmente a medida que las reservas de agua dulce siguen disminuyendo. El agua usada en procesos industriales, como los mineros, presenta mayor grado de reutilización debido a la aparición de nuevas tecnologías que eliminan los contaminantes incorporados en ellas durante el proceso o permiten su uso nuevamente.

En efecto, se han reducido los consumos de agua fresca, han disminuido las pérdidas hídricas, aumentado la recirculación y mejorado la eficiencia de los procesos.

### 5.1 AGUA RECIRCULADA EN LA FAENA MINERA

Gráfico 13  
Tasa de recirculación en la faena 2012 (%)



El agua recirculada en la faena completa corresponde al total de agua que es reutilizada desde los distintos procesos, considerando el área mina, planta, relaves, campamentos y otros.

A nivel nacional la tasa de recirculación en las faenas es de un 74%, ponderado según la producción de cada región.

De acuerdo a los datos entregados por las empresas, durante el 2012 la región con mayor recirculación de agua en la faena fue la IV Región de Coquimbo con un 82%. Esta región se encuentra bajo un severo estrés hídrico y corresponde a la región donde hay más competencia por el agua para otros usos, como el agrícola. Luego viene la Región Metropolitana con un 79%, gracias a la entrada en operación del proyecto de desarrollo Los Bronces, que aumentó la tasa de recirculación.

## 5.2 RECIRCULACIÓN DE AGUA EN PLANTAS CONCENTRADORAS

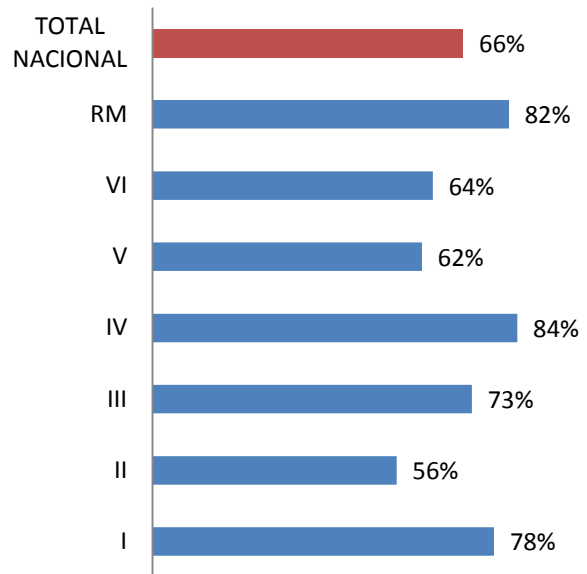
La recuperación de las aguas de proceso de la concentradora debe ser maximizada a fin de lograr el objetivo de minimizar el consumo de agua fresca y la contaminación, ya que es el proceso más intensivo en el uso del recurso hídrico. A nivel nacional la tasa de recirculación en las plantas concentradoras es de un 66%.

Las faenas que tienen la opción de recircular las aguas desde los depósitos de relaves y/o espesadores son aquellas que logran el menor consumo de agua fresca. Por esta razón, los esfuerzos se enfocan en su reutilización, para así prescindir de una entrada de agua fresca constante a la planta de procesamiento ya que solo se requeriría ingresar agua al sistema cuando el nivel no fuera el indicado para funcionar correctamente. Las recirculaciones ocasionan que la demanda de agua fresca sea mucho menor a la que sería necesaria sin recirculación.

En general, cuando las faenas tienden a igualar el consumo de agua fresca con el uso total de agua en la operación es porque la recirculación no resulta técnicamente factible. Habitualmente esto ocurre cuando la planta concentradora se encuentra ubicada a mayor altura que los relaves y/o espesadores, lo que significa un alto costo energético y de inversión para bombear agua de vuelta al proceso, siendo económicamente inconveniente.

La IV Región de Coquimbo es la que tiene mayor tasa de recirculación en la planta concentradora con un 84%, principalmente gracias a la acción de la mina Los Pelambres. La Región Metropolitana también alcanza altos valores de recirculación alcanzando un 82% gracias a la operación Los Bronces, que con el nuevo Proyecto de Desarrollo Los Bronces<sup>5</sup> aumentó su tasa de recirculación.

Gráfico 14  
Tasa de recirculación en plantas concentradoras  
2012 (%)

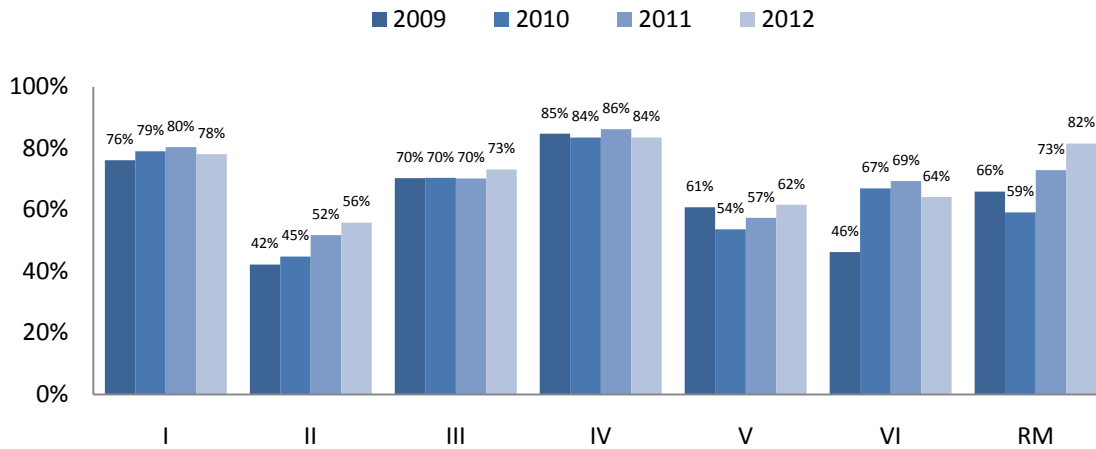


<sup>5</sup> En el marco del Proyecto Desarrollo Los Bronces, en 2012 se puso en marcha un nuevo sistema de agua recirculada (SAR). Esta iniciativa permitió a Anglo American expandir su capacidad de tratamiento de mineral al doble, minimizando los requerimientos de nueva agua fresca, con lo que aumentó de forma significativa la reutilización y/o recirculación de aguas de proceso y disminuyó la huella hídrica de su operación. Durante 2012, esta iniciativa operó a máxima capacidad, con lo cual se recircularon más de 22 millones de m<sup>3</sup> de agua del proceso (Reporte Sustentabilidad 2012).

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

Para analizar la evolución de las tasa de recirculación por región se muestran las tasas por región desde el 2009 al 2012 en la planta concentradora, ya que el porcentaje de recirculación de la faena completa no se calculaba en años anteriores.

Gráfico 15

**Evolución de las tasas de recirculación en plantas concentradoras por región 2009-2012 (%)**

EL grafico 15 muestra que la tendencia a nivel país ha ido en aumento respecto a la recirculación de las aguas en la planta concentradora, lo que conlleva una disminución del uso de agua fresca.



**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012****6. USO DE AGUA DE MAR**

La gran apuesta para poder desarrollar la minería de manera sustentable en un futuro cercano parece ser el agua de mar. Una sustentabilidad enfocada desde un punto de vista del aprovechamiento adecuado de los recursos a los cuales tenemos un acceso limitado. Las empresas están abocadas y preocupadas del tema, por ello buscan alternativas para que los usos actuales de agua fresca disminuyan. Por esta razón en esta sección se muestra el uso de agua de mar en las faenas, la que se observa en la tabla 5. Cabe destacar que la tasa de respuesta a esta pregunta fue mayor que en el año anterior, por lo que los datos de consumo de agua de mar salada para el 2011 se tomaron de reportes de sustentabilidad correspondientes.

Tabla 5  
Consumo de agua de mar en la minería del cobre 2012 (Lts/seg)

<i>Tamaño/Proceso</i>	<b>2011</b> <i>Consumo total agua de mar (lts/seg)</i>	<b>2012</b> <i>Consumo total agua de mar (lts/seg)</i>
AGUA DE MAR DESALINIZADA	223	369
AGUA DE MAR SALADA	490	609
<b>TOTAL AGUA</b>	<b>713</b>	<b>978</b>

El agua de mar desalinizada corresponde a agua proveniente del mar sometida a un proceso de desalinización, ya sea por osmosis inversa, electrodiálisis, destilación multiefecto (MED), evaporación flash (MSF) y destilación por energía solar, entre otros. A través de un proceso físico-químico se eliminan los minerales y se obtiene agua dulce. El consumo total de agua desalinizada declarado por las empresas corresponde a 369 lts/seg representando un aumento de un 65% respecto al año anterior. Sin embargo el número de faenas que utilizan agua desalinizada se mantiene igual al año anterior.

El agua de mar utilizada directamente en el proceso de obtención corresponde a agua de mar que es sometida a un tratamiento básico donde se elimina el material particulado inorgánico y el orgánico contenido, pero mantiene su contenido salino. Para el año 2012 el consumo total de agua proveniente del mar utilizada directamente en los procesos mineros fue de 609 lts/seg.

Porcentualmente, el agua de mar salada utilizada directamente en los procesos de obtención del cobre representa el 62% del agua de mar utilizada en la minería del cobre, mientras que el agua desalinizada corresponde al 38%.

## Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012

En la tabla 6 se observan las operaciones y proyectos de plantas desaladoras para la minería del cobre. En el caso de que se realicen todos los proyectos en carpeta la capacidad podría aumentar en considerablemente la capacidad actual de desalinización.

Tabla 6  
Catastro de operaciones y proyectos de plantas desaladoras para la minería del cobre

Estado	Región	Nombre Planta	Operador	Operación	Capacidad planta lts/seg
<b>En Operación</b>	III	Planta Desalinizadora Minera Candelaria	Freeport	Candelaria <sup>6</sup>	300-500
	II	Planta Desaladora Michilla	Antofagasta Minerals	Michilla	75
	II	Agua de mar Cenizas Taltal	SLM Las Cenizas	Las cenizas Tal Tal	9,3
	II	Planta Desaladora Esperanza	Antofagasta Minerals	Esperanza	50
	II	Planta Coloso	BHP Billiton	Escondida	525
<b>En Construcción</b>	II	Agua de mar Sierra Gorda	Minera Quadra Chile	Sierra Gorda	63
	II	Agua de mar Antucoya	Antofagasta Minerals	Antucoya	280
	III	Abastecimiento de Agua Desalada Mantoverde	AngloAmerican	Mantoverde	120
<b>Factibilidad en Desarrollo</b>	III	Planta Desaladora Santo Domingo	SCM Santo Domingo	Proyecto Santo Domingo	260-290
	I	Planta Desaladora Quebrada Blanca Fase 2	Teck	Quebrada Blanca Fase 2	1300
	III	Planta Desaladora Proyecto Relincho	Relincho Copper	Proyecto Relincho	700
<b>Pre Factibilidad</b>	I	Planta Desaladora Collahuasi	Doña Ines de Collahuasi	Collahuasi	1500
<b>En Estudio</b>	II	Planta desalinización RT Sulfuros	Codelco	Radomiro Tomic Sulfuros fase II	1630
<b>RCA Aprobado</b>	II	Suministro Complementario de Agua Desalinizada para Minera Escondida	BHP Billiton	Escondida	3200
<b>RCA Pendiente</b>	III	Planta Desaladora El Morro	Goldcorp	Proyecto El Morro	640-740

<sup>6</sup> Planta desalinizadora Candelaria en funcionamiento a partir del 2013.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

En el caso de uso de agua de mar directamente en el proceso de obtención de cobre, la puesta en marcha de Minera Esperanza abrió un nuevo camino para la industria minera del sector. El proyecto, emplazado en la Región de Antofagasta, se convirtió en el primer desarrollo minero a gran escala en el mundo que usa agua de mar salada en sus procesos de producción de metales y ha funcionado bien, lo que incentiva a otras compañías a seguir el modelo.

Tabla 7  
Catastro de operaciones y proyectos de sistemas de impulsión de agua de mar para la minería del cobre

Estado	Región	Nombre	Operador	Operación	Capacidad Agua de mar lts/seg
<b>En Operación</b>	II	Planta y sistema de impulsión Michilla	Antofagasta Minerals	Michilla	23
	II	Agua de mar Esperanza	Antofagasta Minerals	Esperanza	780-1500
	II	Agua de mar Cenizas Taltal	SLM Las Cenizas	Las cenizas Taltal	12
	II	Agua de mar Mantos de la Luna	Compañía Minera Tocopilla	Mantos de la Luna	78
<b>En Construcción</b>	II	Agua de mar Sierra Gorda	Minera Quadra Chile	Sierra Gorda	1315
<b>En Calificación</b>	III	Agua de mar Diego de Almagro	Diego de Almagro	Diego de Almagro	315
<b>Factibilidad en Desarrollo</b>	III	Agua de mar Santo Domingo	SCM Santo Domingo	Proyecto Santo Domingo	400
<b>Pre Factibilidad</b>	II	Agua de mar Lomas Bayas III	Xstrata	Lomas Bayas III	500
<b>RCA aprobado</b>	XV	Agua de mar y sistema de impulsión Pampa Camarones	Minera Pampa Camarones	Pampa Camarones	12,5

Sin embargo, el punto crítico de estas opciones es la energía necesaria para la impulsión del agua desde el nivel del mar a grandes alturas, donde están ubicadas la mayoría de las operaciones. El agua debe ser transportada hacia las faenas mineras que suelen estar alejadas del punto de desalinización lo que implica alta demanda de energía, empleo de equipos de bombeo y redes de tuberías, lo que constituye un aumento de los costos globales.

## 7. CONCLUSIONES

Las extracciones de agua fresca en el año 2012 alcanzaron los 12,4 m<sup>3</sup>/seg en el sector de la minería del cobre, desde la I Región de Tarapacá hasta la VI Región de O'Higgins. Esto representa una disminución de 0,2 m<sup>3</sup>/seg respecto al año anterior, que alcanzó los 12,6 m<sup>3</sup>/seg, lo que refleja la preocupación por la industria del cobre en disminuir los consumos de agua fresca, ya sea a través de mejoras tecnológicas en eficiencia y/o nuevas alternativas para el suministro hídrico.

A nivel de proceso, el 74% de las extracciones de agua fresca corresponden al procesamiento mediante flotación para la obtención de concentrados de cobre, mientras que el 11% es para la obtención de cátodos electro obtenidos, el 15% restante corresponde a ítem "otros" donde se incluye el agua para servicios varios, campamentos, supresión de polvo en camino y agua potable, entre otros.

Al analizar las extracciones de agua fresca por tipo de fuente se obtiene que a nivel nacional las aguas de origen superficial alcanzan un 44% de las extracciones, las de origen subterráneo un 42%, aquellas adquiridas a terceros un 6% y las de aguas provenientes del mar constituyen un 8% del total, valor que se espera vaya aumentando con los años.

En relación al consumo unitario de agua fresca que determina la cantidad de agua necesaria para procesar una tonelada de mineral, podemos evaluar la eficiencia de las operaciones. De acuerdo al diagnóstico elaborado el consumo unitario promedio para los minerales sulfurados durante el 2012 fue de 0,61 m<sup>3</sup>/ton\_min, mientras que el consumo promedio para los minerales lixiviables fue de 0,10 m<sup>3</sup>/ton\_min, lo que demostraría que en efecto se han reducido los consumos de agua fresca.

En la misma línea de indicadores de eficiencia se determinó el porcentaje de reutilización de las aguas, tanto en la faena completa como en la planta concentradora, que para el año 2012 fueron de 74% y 66%, respectivamente. Las empresas mineras han actuado de manera de ser más eficientes en el uso de agua y por lo tanto disminuir el consumo total.

La utilización de agua de mar en minería está siendo una opción cada vez más rentable e incluso, la única posibilidad factible técnica y económicamente para muchas faenas mineras. La desalinización ha sido planteada como una de las mejores soluciones al conflicto hídrico que sufre el norte del país, pues más allá del costo, la desalación reduce la presión sobre otras fuentes de recursos hídricos y aumenta la disponibilidad del recurso.

Gracias al diagnóstico que se realiza a través de este estudio es posible identificar las regiones que se ven más afectadas por la actividad minera de manera de optimizar el uso de éstos de manera sostenible en el tiempo.

## 8. ANEXOS

### 8.1 DISPONIBILIDAD DE AGUA A NIVEL REGIONAL

La región de Atacama presenta una baja global de lluvias del orden de un 70%, llegando el déficit de precipitaciones, en algunas zonas, a un 100%. En cuanto a los caudales, éstos se han mantenido cercanos a sus valores mínimos, siendo algunos levemente menores a los del año pasado. Por su parte, los embalses Santa Juana y Lautaro evidencian una variación negativa, de un 29% y un 6% respectivamente, con relación a 2011.

La región de Coquimbo presenta una baja global de lluvias del orden de un 80%, ubicándose el déficit de precipitaciones alrededor de un 50%. Los ríos mantienen escurrimientos cercanos a los mínimos históricos. Por su parte, los embalses de riego de la zona norte como el sistema Puclaro, sistema Paloma y el embalse Corrales, presentan una diferencia negativa entre un 40% y un 50% con respecto a agosto de 2011.

La región de Valparaíso, al igual que las regiones del norte, se ha visto afectada por la sequía. Las precipitaciones si bien han sido escasas, son mayores a las registradas durante 2011 y el déficit se ubica entorno a un 40%. Similar situación es la de los caudales, los que se mantienen bajo la media, pero lejos de los mínimos y por sobre los valores de 2011. En tanto, los embalses Los Aromos y Peñuelas, superan ampliamente los registros a igual fecha en 2011 (29,4% y 133,3%)

La región de O'Higgins presenta un déficit de lluvias cercano a un 25%. Los caudales, que en algunos casos llegaron a sus promedios estadísticos durante junio, actualmente están bajo la media, pero lejos de los mínimos y por sobre los registros de 2011, debido a la escasez de precipitaciones y la baja acumulación nival. En tanto, el embalse Rapel bajó un 14% con relación a las reservas observadas el año pasado a la misma fecha mientras que en el embalse Convento Viejo las reservas son iguales a las del año pasado.

Fuente: <http://pronostico.dga.cl/>

## 8.2 GLOSARIO

**ENTRADA (Extracción de agua)**

**Agua fresca:** Se entiende por agua fresca aquellas extracciones provenientes de aguas superficiales como Aguas lluvias, Escorrentías, Embalses superficiales, Lagos y Ríos y aguas subterráneas, como las aguas alumbradas y acuíferos, para las cuales se cuenta con los respectivos derechos de aguas y aguas adquiridas a terceros. El agua fresca cubre las pérdidas producidas a través de los procesos.

**Agua total:** Se considera como el agua fresca más el agua recirculada en los procesos. El agua total es aquella necesaria para mantener a régimen el proceso productivo. Corresponde al total de entrada de aguas.

**1. Aguas Superficiales**

De acuerdo al artículo 2º del Código de Aguas, las aguas superficiales son “aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y pueden ser corrientes o detenidas”. Las aguas superficiales (aquellas que corren por cauces naturales como vertientes, esteros, ríos y quebradas, o se encuentran acumuladas en depósitos naturales como lagos, lagunas, pantanos, ciénagas, y embalses) se encuentran al alcance del hombre y son fácilmente encauzadas, desviadas y luego aprovechadas en actividades económicas como la agricultura, la industria y para uso doméstico

- **Aguas lluvias (o pluviales):** Se entienden por aguas pluviales aquellas que proceden inmediatamente de las lluvias. El uso de las aguas pluviales que caen o se recogen en un predio de propiedad particular corresponde al dueño de éste, mientras corran dentro de su predio o no caigan a cauces naturales de uso público. En consecuencia, el dueño puede almacenarlas dentro del predio por medios adecuados, siempre que no se perjudique derechos de terceros.
- **Escorrentías:** Agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo. Se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo.
- **Embalses superficiales:** Gran depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc. Obra artificial donde se acopian aguas.
- **Lagos, Ríos y Afluentes:** Los lagos pueden definirse como una característica geográfica en forma de depresión, que abarca un gran volumen de agua. Sus aguas provienen de muchas fuentes, incluyendo la lluvia, los ríos, el derretimiento de hielo y aguas freáticas. Un río es una corriente continua de agua. Los ríos se forman por la acumulación del agua de lluvia y del deshielo de las montañas o por la emergencia de aguas subterráneas a la superficie terrestre. Los ríos principales desembocan en un lago o en el mar; en cambio, los afluentes son ríos que desembocan en otro río.

## Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012

### 2. Aguas Subterráneas:

De acuerdo al artículo 2º del Código de Aguas, las aguas subterráneas son aquellas que “están ocultas en el seno de la tierra”. Las aguas subterráneas almacenadas en acuíferos o embalses subterráneos requieren de labores previas de exploración, con el objeto de ubicarlas y conocer sus características para su posterior explotación y aprovechamiento.

- **Acuíferos:** Es una unidad geológica que puede almacenar y transmitir agua a tasas suficientes para satisfacer la extracción desde un pozo de bombeo.
- **Salares:** Es un tipo de acuífero donde se almacena agua con cierta concentración salina, no disponible para el consumo humano. Los salares son cuencas cerradas donde queda almacenada el agua, donde a lo largo de miles de años se han concentrado minerales y elementos químicos que fueron arrastrados por la lluvia desde las laderas montañosas.
- **Aguas Alumbradas o de contacto (“Aguas del minero”):** Las que salen a la superficie por el esfuerzo del hombre y pertenecen al que las ha alumbrado. El concepto de “alumbrar aguas subterráneas” es importante, ya que elimina toda posibilidad de incluir el afloramiento natural en la idea jurídica de aguas subterráneas; es esencial para el alumbramiento de las aguas subterráneas la intervención del hombre.

### 3. Agua de Mar

En este punto se hace referencia a toda agua de mar que es extraída desde la costa. Esta tiene dos vías posibles, ya sea utilizada directamente en los procesos o previa desalinización.

Es importante destacar que el uso de agua de mar no requiere derechos de agua competitivos con el agua fresca.

Es necesario especificar si el agua salada es desalinizada previamente a la impulsión.

$$\text{Extracción de agua Salada (m}^3\text{)} = \text{Agua Desalinizada(m}^3\text{)} + \text{Agua de mar sin desalar (m}^3\text{)}$$

- **Agua de mar sin desalar:** Agua de mar utilizada en los procesos directamente, a través de un tratamiento básico. El agua mantiene su contenido salino, sin embargo se somete a un tratamiento básico de filtración para eliminar el material particulado inorgánico y el orgánico contenido.
- **Agua Desalinizada:** Agua de mar sometida a un proceso de desalinización, ya sea por osmosis inversa, electrodiálisis, destilación multiefecto (MED), evaporación multi-etapas flash (MSF) y destilación por energía solar, entre otros.

### 4. Agua adquirida a terceros

Contrato con terceros: Compra de agua directamente a terceros con sus derechos respectivos. (No compro los derechos, sino que el agua)

### 5. Aguas residuales tratadas

Para las aplicaciones de minería, tratamiento de aguas residuales es el proceso de eliminación de contaminantes del agua ya utilizada en las operaciones de extracción y procesamiento de minerales, así como de los establecimientos y la superficie de escorrentía. Tratadas para su reutilización.

## PROCESAMIENTO

### 1. Uso de agua en la mina:

Se entiende por uso de agua en la mina, el agua utilizada para la extracción del mineral, ya sea mediante minería a rajo abierto o subterránea, incluyendo los procesos de perforación, tronadora, carguío y transporte hasta la fase de chancado primario incluido.

- **Minería a cielo abierto:** El uso principal de agua en la minería a rajo abierto es en el riego de caminos con el objeto de reducir el polvo en suspensión. Muchos factores influyen en el abatimiento del polvo: superficies expuestas, morfología del terreno, precipitaciones anuales, vegetación natural, etc.
- **Minería subterránea:** En la minería subterránea, el consumo del agua es reducido y el problema consiste más bien en extraer el agua natural que se apoza en el fondo de los piques, la que puede provenir de lluvias o de afloramientos de las napas subterráneas.
- **Supresión de polvo en caminos:** Programas de riego de caminos, los sistemas de supresión de polvo y encapsulamiento en la línea de chancado.
- **Mineroducto:** Uso de agua en el transporte de minerales a la planta de procesamiento.

### 2. Uso de agua para el procesamiento de minerales sulfurados.

En las plantas concentradoras el tratamiento de minerales sulfurados involucra la molienda del mineral, clasificación, flotación, espesamiento, transporte del concentrado y disposición de relaves.

Etapas del procesamiento de sulfuros

- **Trituración:** Es el proceso de reducción de tamaño del mineral; extraído de la mina hasta un tamaño apropiado para su posterior tratamiento en el circuito de pre concentración o molienda. El mineral triturado pasa al molino de bolas para reducirlo aún mucho más, que juntamente con el agua que recibe el molino es expulsado para otra fase de su proceso.
- **Molienda:** El mineral pre concentrado pasa luego a través de un circuito de molienda para reducir aún más el tamaño de las partículas obteniéndose una mayor liberación del mineral a ser recuperado.
- **Flotación:** el agua se emplea con la solución de algún reactivo que provoca la separación del mineral del material estéril.
- **Filtración:** Los concentrados finales del proceso de flotación se acumulan y se les disminuye el porcentaje de agua, logrando una recirculación de aguas.
  - **Recirculación en Espesadores:** La pasta corresponde a una mezcla de agua con sólidos de alta densidad, que contienen abundante partículas finas. Cuando ha sido depositada, puede exudar agua.
  - **Recirculación en Relaves:** destinadas a confinar grandes volúmenes de finos sedimentos y agua provenientes de las operaciones de extracción de minerales.
- **Uso de agua en Transporte de Relaves:** Considera el agua utilizada para el transporte de los relaves al depósito.
- **Uso de agua en Transporte de Concentrados:** Considera el agua utilizada para el transporte de la pulpa a través de un ducto. (Solo en el caso de disponer de este método)



**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012****3. Uso de agua para el procesamiento de minerales Oxidados**

Para procesar los minerales oxidados es necesario realizar un proceso de hidrometalurgia que contempla las etapas de aglomeración, lixiviación, extracción por solventes y electro obtención para la producción de cátodos, incluyendo el agua utilizada en el transporte del ácido y de la solución enriquecida.

- Aglomeración: Consiste en recibir el mineral de la planta de chancado. Se agrega una solución de ácida (agua y ácido sulfúrico) para almacenarlo en las pilas de lixiviación.
- Lixiviación (LX): consumo de agua en este proceso corresponde principalmente al utilizado en la solución de riego de las pilas o bateas de lixiviación. Este proceso considera las etapas de lixiviación en pilas, botaderos de rios hasta el acopio en las piscinas de PLS inclusive.
- Extracción por solventes (SX): Proceso considera las etapas de extracción, descarga y lavado. El agua se recupera como refino ( agua acidulada con cierta cantidad de cobre contenido que vuelve al proceso )
- Electro obtención (EW): La planta de electro obtención considera las etapas de electro obtención y el despegue de cátodos. El suministro de agua se utiliza principalmente en las celdas de lavado de cátodos.

**4. Uso de agua en servicios auxiliares**

Existen varias actividades que se llevan a cabo para apoyo del proceso de explotación mina, como Mantenimiento de las Instalaciones de la Mina, Aire comprimido y Agua, Desagüe, Ventilación y lamparería.

**5. Uso de agua potable (Campamento)**

El agua de consumo humano es para bebida, cocción, lavado, riego y baños.

**6. Uso de agua en fundición**

El agua consumida se utiliza en enfriamiento de gases, ya sea directamente en la fusión o en la sección de producción de ácido sulfúrico y también para la captura de contaminantes de arsénico en los gases.

Este etapa comprende el proceso de secado, la fusión en hornos, la limpieza de escoria, la conversión, moldeo de ánodos y planta de ácido.

**7. Uso de agua en refinería**

Consiste en disolver electroquímicamente los ánodos provenientes de la fundición. Este proceso comprende las etapas de refinación electrolítica, el tratamiento de los barros anódicos y el proceso de electro refinación.

## EFICIENCIA DE REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE

- **Make Up:** Agua de reposición; suministro de agua necesario para compensar/reemplazar las pérdidas (evaporación, infiltración, etc.) que se producen en el sistema de recirculación de agua del circuito.
- **Recuperación de aguas de proceso:** La recuperación de aguas de proceso corresponden a aquellas aguas que se recuperan desde el tranque de relaves y pueden ser utilizadas nuevamente en el proceso a través de la recirculación. El sistema de recuperación de aguas permite devolver a la planta las aguas claras que se han recuperado desde la poza de decantación de un tranque o embalse de relaves.
- **Recirculación:** 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.

$$\text{Recirculación Total} = \frac{\text{Agua Total (m3)} - \text{Agua Fresca (m3)} - \text{Agua de mar (m3)}}{\text{Agua Total (m3)}}$$

$$\text{Recirculación Agua Fresca} = \frac{\text{Agua Total (m3)} - \text{Agua Fresca (m3)}}{\text{Agua Total (m3)}}$$

El indicador de recirculación de agua fresca nos permite analizar la incidencia del agua fresca en el uso de agua total en la minería, además al compararlo con la recirculación total se refleja la importancia que podría tener el uso de agua de mar.

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

## 8.3 FAENAS QUE PARTICIPARON EN LA ENCUESTA

<b>Operación</b>
Andina
Atacama Kozan
Candelaria
Las Cenizas Cabildo
Las Cenizas Taltal
Cerro Colorado
Cerro Dominador Planta Callejas Zamora
Cerro Dominador Planta Santa Margarita
Chuquicamata
Collahuasi
El Abra
El Soldado
El Teniente
El Tesoro
Escondida
Esperanza
Enami
Fundición Altonorte
Fundición Chagres
Gaby
Lomas Bayas
Los Bronces
Los Pelambres
Mantos Blancos
Mantoverde
Michilla
Ojos del Salado
Quebrada Blanca
Radomiro Tomic
Salvador
Spence
Ventanas
Valle Central

## Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012

### 8.4 DEFINICIONES RELATIVAS A LA ACTIVIDAD MINERA

#### I. ANUARIO DE LA MINERÍA DE CHILE 2004. Ministerio de Minería, Instituto Nacional de Estadísticas y Servicio Nacional de Geología y Minería.

**“GRANDES EMPRESAS:** Igual o superior a un 1.000.000 horas hombre trabajadas durante el período de un año (corresponde al trabajo promedio aproximado de un mínimo de 400 trabajadores durante un año)

**MEDIANAS EMPRESAS:** Igual o superior a 200.000 e inferior a un 1.000.000 de horas hombres trabajadas durante el período de un año (corresponde al trabajo promedio aproximado de un mínimo de 80 y un máximo de 400 trabajadores durante el año)

**PEQUEÑAS EMPRESAS:** Menos de 200.000 horas hombre trabajadas durante el período de un año (corresponde al trabajo promedio aproximado de menos de 80 trabajadores durante el año)”.

#### II. CÓDIGO DE MINERÍA. Artículo 142 inciso 2°

“Para ello, se entiende por **pequeños mineros y mineros artesanales** a las personas naturales que exploten una o más pertenencias personalmente y con un máximo de 12 o de 6 dependientes, respectivamente, como asimismo a las sociedades legales mineras y a las cooperativas mineras, siempre que no cuenten con más de 12 o de 6 dependientes, respectivamente y que cada socio o cooperado trabaje personalmente en la explotación (...)”.

#### III. LEY N° 16.624/67. Artículo 1°

“Para los efectos de la presente ley, son **empresas productoras de cobre de la Gran Minería** las que produzcan, dentro del país, cobre "blister", refinado a fuego o electrolítico, en cualquiera de sus formas, en cantidades no inferiores a 75.000 toneladas métricas anuales mediante la explotación y beneficio de minerales de producción propia o de sus filiales o asociados. Las empresas que actualmente están comprendidas dentro de la Gran Minería del Cobre, o las que en el futuro lleguen a tener esta calidad, no perderán su condición de tales aunque posteriormente su producción sea inferior a 75.000 toneladas métricas anuales”.

#### IV. LEY SOBRE IMPUESTO A LA RENTA (D.L. N° 824/74). Artículo 22 N° 1°

“Los **pequeños mineros artesanales**, entendiéndose por tales las personas que trabajan personalmente una mina y/o una planta de beneficio de minerales, propias o ajenas, con o sin la ayuda de su familia y/o con un máximo de cinco dependientes asalariados. Se comprende también en esta denominación las sociedades legales mineras que no tengan más de seis socios, y las cooperativas mineras, y siempre que los socios o cooperados tengan todos el carácter de mineros artesanales de acuerdo con el concepto antes descrito”.

#### V. REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA (D.S. N° 72/86, modificado por Decreto N° 132, Minería, de 07.02.2004), Artículo 9°

**“Empresa Minera** es la persona natural o jurídica, Titular o Propietaria que, por cuenta propia o, en representación de otra mediante contrato oneroso, ejecute o entrega la ejecución, respectivamente, de las acciones, faenas y trabajos de la industria extractiva minera respecto de una concesión minera determinada, así como también lo es aquella a quién se le entrega dicha ejecución en el carácter que el correspondiente contrato lo señale”.

#### VI. TRABAJO “SECTORES DE LA MINERÍA CHILENA”. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), 2009

**Actualización de la información del consumo de agua en la minería del cobre al 2012**

**“La Gran Minería** incluye a todas aquellas empresas que producen anualmente más de 75.000 Ton de cobre metálico o su equivalente. Se suman además aquellas que aunque no alcanzan este nivel de producción, son filiales de grandes transnacionales mineras, operan con tecnología de punta, acceden a los mercados financieros internacionales, tienen capacidad e infraestructura para colocar su producto en el mercado nacional e internacional de concentrados, son altamente competitivas y por lo tanto no requieren de la labor de fomento del Estado.

**En la Mediana Minería (MM)** se clasifican todas aquellas faenas mineras cuya producción corresponde a una explotación superior a 200 Ton de “mineral” por día, participan de la actividad de fomento del Estado y venden concentrados o precipitados de cobre u oro exclusiva o mayoritariamente en ENAMI bajo un sistema de contratos que aseguran la compra de toda la producción. Son importantes generadores de empleo directo, y en particular en el Norte Minero y permiten además el desarrollo asociado de la Pequeña Minería, la cual actúa como abastecedora de mineral de las plantas de beneficio medianas.

**El pequeño minero** se define como aquel que trabaja en instalaciones propias o ajenas con una capacidad de extracción de hasta 200 toneladas de “mineral” por día, para su venta directa en bruto o su procesamiento en pequeñas plantas de beneficio. Este segmento está formado por una gran cantidad de mineros que se acogen a la política de fomento del Estado y en su mayoría venden su producción a los poderes compradores de ENAMI a través de un sistema de tarifas”.

Este trabajo fue elaborado en la  
Dirección de Estudios por

CAMILA MONTES PRUNÉS

MARIA CRISTINA BETANCOUR MUÑOZ  
Directora de Estudios

Julio 2013