



**COMISIÓN CHILENA DEL COBRE**  
**Dirección de Estudios y Políticas Públicas**

**CONSUMO DE AGUA EN LA  
MINERÍA DEL COBRE 2010  
DE/06/11**

Registro de Propiedad Intelectual

© N° 21180

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe es la segunda versión del estudio “Consumo de agua en la minería del cobre” cuyo objetivo principal es determinar tanto el consumo global de agua fresca en la minería del cobre, como sus consumos unitarios por tonelada de mineral tratado.

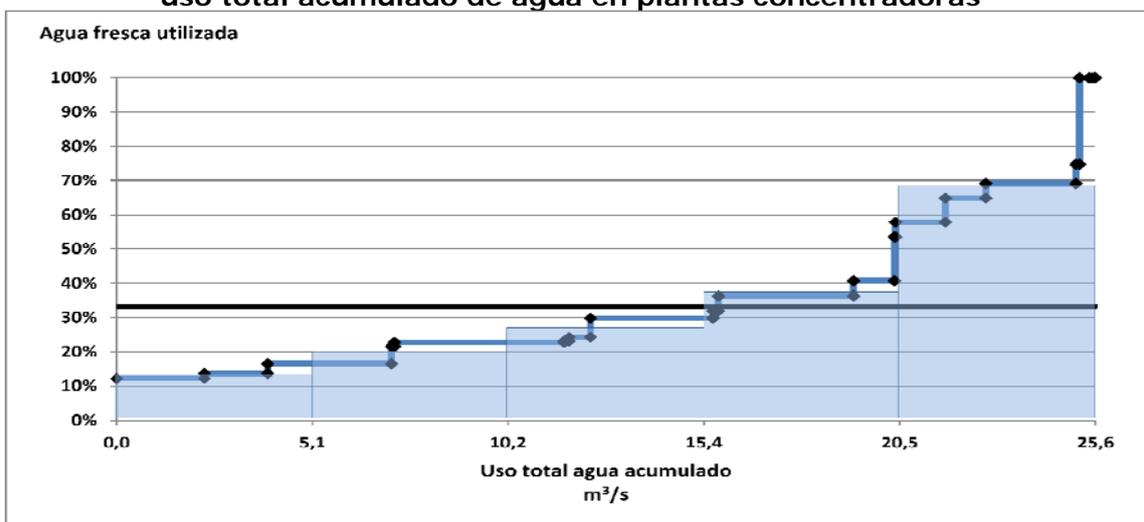
Se inicia con una introducción que reseña la acción pública –privada que se ha desarrollado para abordar el tema de la escasez de agua en las zonas mineras lo que ha permitido generar antecedentes desde el año 2000 que muestran la positiva evolución del manejo del consumo de agua en la minería del cobre.

Los antecedentes que dan base al informe se obtienen de una encuesta a las principales compañías mineras del cobre, que aportan sus usos totales de agua y las extracciones de agua fresca que les pertenecen.

El resultado cuantitativo es que el consumo total de agua fresca en el año 2010 alcanzó al equivalente de 12,4 m<sup>3</sup>, donde el 43,5% se consume en la Región de Antofagasta. Las otras dos regiones del Norte (I y III), se sitúan en torno al 11% del consumo total. De dicho consumo total, el 71% se destina a la producción de concentrados, el 14% a la producción de cátodos SxEw y el 15% a otros fines no asimilables directamente a la producción.

El informe analiza con detención la reutilización del agua en las concentradoras. Se calculó que, en promedio, sólo el 33% del total del agua usada en los procesos corresponde a extracciones de agua fresca y el resto es agua de recirculación.

**Relación entre % de agua fresca y uso total acumulado de agua en plantas concentradoras <sup>1</sup>**



<sup>1</sup> La abscisa del gráfico contiene el uso total acumulado de agua en cada una de las plantas concentradoras ordenadas de menor a mayor % de extracción de agua fresca para su operación. El uso total está dividido en 5 quintiles de 5,1 m<sup>3</sup>/seg, que constituye la base de cada rectángulo y la altura del representa el % promedio de extracción de agua en cada quintil.

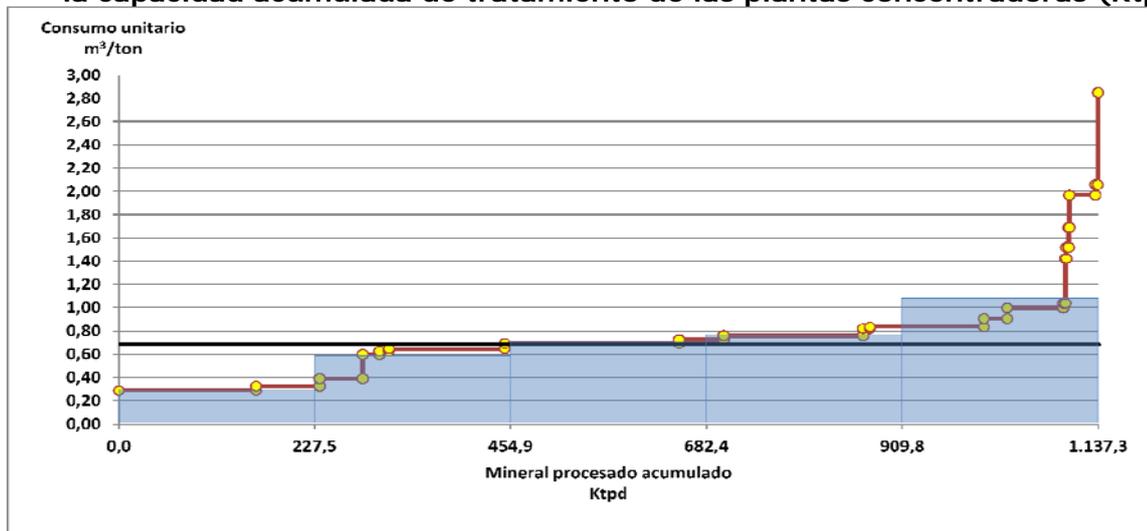
Fuente: Elaboración COCHILCO

Sin embargo, hay claras diferencias entre las operaciones respecto al % de agua fresca que necesitan en sus faenas. Tal como se aprecia en el gráfico las plantas que requieren de mayor agua fresca son las de menor tamaño y algunas de mayor tamaño, pero que están ubicadas en la zona central.

El otro resultado de la encuesta se refiere al consumo unitario de agua fresca por tonelada de mineral tratado. Para la concentración se requiere un promedio de 0,7 m<sup>3</sup>/ton de mineral, con un rango entre 0,3 a 2,9 m<sup>3</sup>/ton. A su vez para la hidrometalurgia se requiere un promedio de 0,13 m<sup>3</sup>/ton de mineral, con un rango entre 0,06 a 0,8 m<sup>3</sup>/ton.

También se analizó el comportamiento de las concentradoras en función de su tamaño. Del gráfico siguiente, se desprende que las operaciones de menor tamaño presentan los mayores consumos unitarios, salvo algunas excepciones.

**Relación entre el consumo unitario de agua fresca (m<sup>3</sup>/ton) y la capacidad acumulada de tratamiento de las plantas concentradoras (Ktpd)<sup>2</sup>**



Fuente: Elaboración COCHILCO

En el ámbito más cualitativo, es necesario destacar que la comparación de las extracciones de agua fresca del año 2010 con datos de años anteriores (año 2000), permite señalar un significativo avance en la eficiencia hídrica.

Es así como al proyectar el consumo de agua para la actividad productiva del año 2010 usando los estándares de consumo del año 2000 (BAU<sup>3</sup>) y compararlos con los

<sup>2</sup> La abscisa del gráfico contiene la capacidad de tratamiento de mineral acumulada (Ktpd) en cada una de las plantas concentradoras ordenadas de menor a mayor consumo unitario de agua fresca para su operación.

La capacidad diaria de procesamiento total está dividido en 5 quintiles de 227,5 Ktpd, que constituye la base de cada rectángulo y la altura del representa el consumo unitario promedio de extracción de agua en cada quintil (m<sup>3</sup>/ton).

<sup>3</sup> BAU: Business As Usual

consumos reales del año 2010, se obtiene un ahorro del 36% en la concentración y de 57% en la hidrometalurgia.

Finalmente, COCHILCO estimó conveniente incluir un capítulo que reseña brevemente el uso de agua de mar en las operaciones mineras, dado que es considerada una de las alternativas eficaces para enfrentar la escasez de agua en las zona Norte de Chile y permitir así la factibilidad para desarrollar nuevos yacimientos.

## INDICE

I.	INTRODUCCION .....	6
1.1	Antecedentes generales .....	6
1.2	Objetivos y alcances del estudio.....	7
1.3	Metodología .....	8
II.	Consumo de Agua en la minería del Cobre en Chile.....	10
2.1	Concentración .....	10
2.2	Hidrometalurgia.....	11
III.	Extracciones de agua fresca en la minería del cobre.....	12
3.1	Extracción de agua fresca por región en el año 2010.....	12
3.2	Comparación de extracciones de agua fresca entre los años 2006 y 2010 .....	13
3.3	Extracción de agua fresca por procesos.....	14
3.3.1	Hidrometalurgia.....	15
3.3.2	Concentración .....	16
3.4	Análisis de la reutilización del agua en la faena .....	16
IV.	Consumo Unitario de Agua FRESCA .....	19
4.1	En Concentración.....	19
4.2	En Hidrometalurgia .....	22
V.	Eficiencia Hídrica .....	23
VI.	Uso de Agua de Mar en las Operaciones Mineras.....	25
6.1	Uso directo de agua de mar en operaciones mineras.....	25
6.2	Desalinización .....	25
6.3	Desalinización a través de destilación .....	26
6.4	Desalinización a través de membranas.....	26
6.5	Aspectos a considerar de las plantas desalinizadoras.....	27
VII.	CONCLUSIONES .....	30

## **I. INTRODUCCION**

### **1.1 Antecedentes generales**

Los procesos mineros son altamente dependientes de un continuo acceso al agua para su desarrollo, por ende el recurso hídrico constituye un recurso estratégico para la actividad. Sumado a lo anterior, hay que considerar que la minería en Chile se desarrolla esencialmente en la zona norte del país, zona de extrema aridez en la que el agua, tanto superficial como subterránea, es un bien escaso. Por tanto, la disponibilidad y gestión del agua resultan clave en la minería.

Es así como, la problemática de la escasez de agua en el norte de país ha sido abordada sectorialmente y se ha instalado además como uno de los temas prioritarios en la agenda nacional.

Ya en 2007, en un trabajo conjunto público privado impulsado por el Ministerio de Minería a través de la "Mesa del Agua", se realizaron importantes avances que ayudaron a esclarecer y tener una visión global del consumo de agua de la industria minera, y dimensionar así su participación efectiva frente a los demás sectores consumidores del recurso.

En esta mesa público-privada, COCHILCO fue la Secretaría Técnica y participaron los Ministros de Medio Ambiente, Obras Públicas, Agricultura, la Subsecretaría de Minería, el Director General de Aguas, el Vicepresidente Ejecutivo de COCHILCO y el Director Nacional de SERNAGEOMIN. La representación del sector privado radicó en los Presidentes del Consejo Minero, de la Sociedad Nacional de Minería, la Sociedad Nacional de Agricultura, la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios y la Comisión Nacional de Riego.

Posteriormente, se promovió la creación de una instancia multisectorial del más alto nivel que abordara el tema de la escasez de agua, por lo cual en el año 2009 se creó el Comité Interministerial de Política Hídrica. Este Comité, presidido por el Ministro de Obras Públicas e integrado por los Ministros de SEGPRES, Economía, Agricultura, Minería, Bienes Nacionales, Medio Ambiente y Energía, tuvo como tarea elaborar una propuesta con lineamientos para una política nacional de recursos hídricos, como también coordinar las distintas autoridades públicas en esta materia. Como parte de este Comité se creó un grupo de trabajo inter-sectorial que se abocó a estudiar las posibilidades que ofrece el Sistema de Concesiones a cargo del Ministerio de Obras Públicas para desarrollar, a través de la cooperación público-privada, proyectos de desalinización en el Norte de nuestro país.

Entre los hitos claves de información que se generó en el marco de la “Mesa del Agua” fue el estudio publicado en el año 2008 con datos del año 2006 “Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centronorte de Chile”, elaborado por Proust Consultores (representando a Consejo Minero y la Sociedad Nacional de la Minería) en conjunto con la Dirección General de Aguas. Este trabajo fue el paso inicial en dar a conocer los consumos de agua de la minería en el país y además, informar sobre los avances del sector en la eficiencia en el consumo unitario de agua fresca en los procesos de concentración e hidrometalurgia en el período 2000-2006.

Así con una mejor base de información sobre el consumo de agua de la industria minera, en el año 2009 COCHILCO se planteó el desafío de intentar generar una visión prospectiva de lo que podía esperarse fuera el consumo de agua hasta el año 2020. Para este ejercicio particular, se basó en supuestos (ej.: leyes de mineral constantes, coeficientes unitarios de consumo de agua constantes), como también en las propias estimaciones de los especialistas de COCHILCO sobre la base de información pública disponible acerca de los años de entrada en operación de proyectos y producciones esperadas para la minería.

En el año 2010, sobre la base de los logros alcanzados, COCHILCO decidió avanzar en la recopilación, sistematización y análisis de información del consumo de agua en las faenas mineras con el objeto de proporcionar información de calidad sobre la situación actual de la minería frente al recurso hídrico y de dar comienzo a la creación de una base de datos que se pueda seguir actualizando con el paso del tiempo mostrando la evolución del consumo y la demanda de agua del sector minero. Así se generó el estudio “Consumo de agua en la minería del cobre 2009” basado en datos al año 2009 proporcionados por las empresas mineras.

El presente trabajo corresponde a la 2ª versión del estudio de consumo de agua en la minería del cobre, con antecedentes actualizados al año 2010.

## **1.2 Objetivos y alcances del estudio**

El agua consumida en las operaciones de la minería del cobre debe ser repuesta con extracciones de agua fresca que se incorporan al flujo operacional.

Para efectos de este estudio, las extracciones de agua fresca en minería corresponden a la cantidad de agua superficial y subterránea obtenida de diversas fuentes de abastecimiento naturales como pozos, embalses,

escorrentías superficiales entre otros para la cual se cuenta con el derecho de agua correspondiente. Por lo tanto no considera las extracciones de agua de mar, aguas adquiridas a terceros<sup>4</sup>.

Los objetivos del informe son:

- Determinar el consumo de agua fresca o make-up que emplean las faenas mineras en los procesos de la minería del cobre (concentración e hidrometalurgia).
- Establecer la tasa promedio nacional de consumo unitario de agua fresca, en los procesos de concentración e hidrometalurgia.

El estudio analiza dichos consumos totales y unitarios entre las Regiones de Tarapacá y de O'Higgins, zonas en las cuales se desarrolla la minería cuprífera nacional, dada las diferencias de disponibilidad de agua que presenta el territorio nacional.

Adicionalmente, el estudio analiza el comportamiento del consumo de agua en los procesos de concentración e hidrometalúrgicos del cobre.

Finalmente se entrega una breve descripción del uso de agua de mar en la minería del cobre.

### **1.3 Metodología**

Para desarrollar el trabajo se ha utilizado la misma metodología que para la versión anterior<sup>5</sup> de este estudio, sistematizando y analizando la información del consumo de agua fresca en las faenas mineras con el objeto de proporcionar información de calidad sobre la situación actual de la minería frente al recurso hídrico y de contar con una base de datos que se pueda seguir actualizando con el paso del tiempo mostrando la evolución del consumo y la demanda de agua del sector minero.

La información en la cual se basa el presente estudio, fue recopilada de la encuesta que realiza anualmente COCHILCO a las empresas mineras respecto del consumo de combustibles y energía eléctrica en cada una de las áreas de producción de cobre y a la cual se le incorporó la solicitud de información del

---

<sup>4</sup> Respecto a este tipo de agua, no existe información precisa acerca de la cantidad que significan dada la inexistencia de la obligación de informarlas. Sin perjuicio de esto, expertos consideran que son volúmenes que, si bien en casos puntuales pueden ser relevantes, no alteran la representatividad de las cifras cuando se considera al sector minero como un todo.

<sup>5</sup> "Consumo de agua en la minería del Cobre 2009"

consumo de agua en las faenas, información necesaria para calcular los consumos unitarios de agua en la producción del cobre primario.

Es así como para este trabajo, se extrajo de la encuesta los datos de extracción y uso de agua fresca en los procesos productivos de concentración e hidrometalurgias proporcionados por las empresas encuestadas, clasificando la información por región. Es importante señalar que la información provista por las empresas mineras tiene carácter reservado, por ende los resultados se presentan en este estudio en forma agregada.

Como en la ocasión anterior, se ha contado con una amplia colaboración de las empresas mineras para la entrega de la información requerida, por lo que este estudio cubre el 97% de la producción de cobre en el país. (Ver en Anexo lista de faenas comprendidas en este estudio)

## II. CONSUMO DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE

El consumo de agua incluye todas aquellas actividades en las que el uso de agua produce pérdidas en relación a la cantidad inicial suministrada.

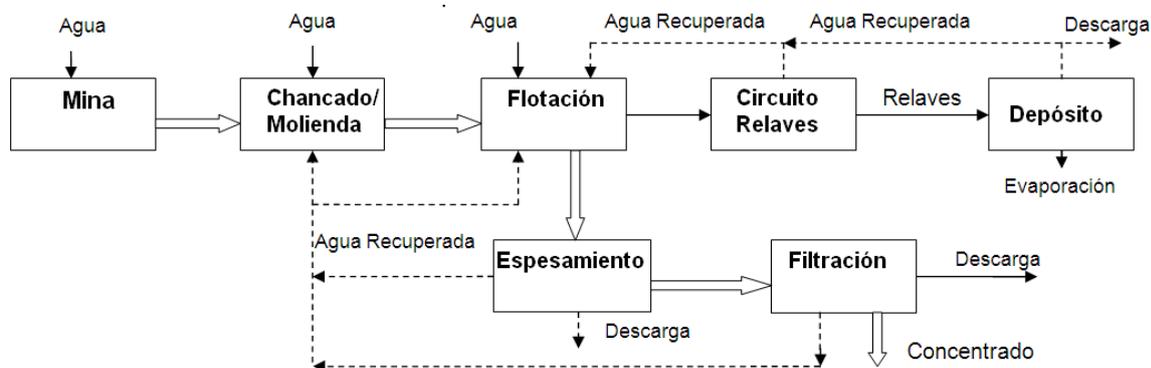
En la minería del cobre, el agua se utiliza fundamentalmente en el proceso de concentración para la producción de concentrados, y en el proceso hidrometalúrgico para la producción de cátodos.

En particular, dentro de la cadena productiva del cobre, el agua utilizada en el procesamiento de minerales representa el mayor consumo de agua con respecto a los volúmenes totales, sin perjuicio que en otras actividades de la minería se consume agua, aunque en menor medida.

### 2.1 Concentración

En las plantas concentradoras el tratamiento de minerales sulfurados involucra el chancado y molienda del mineral, seguido por la flotación, clasificación y espesamiento (Ver Figura 1). Los consumos más significativos de agua se presentan en la flotación, el transporte de concentrados y relaves, y la evaporación e infiltración en los tranques.

**Figura 1:  
Procesamiento de Minerales Sulfurados por Flotación**



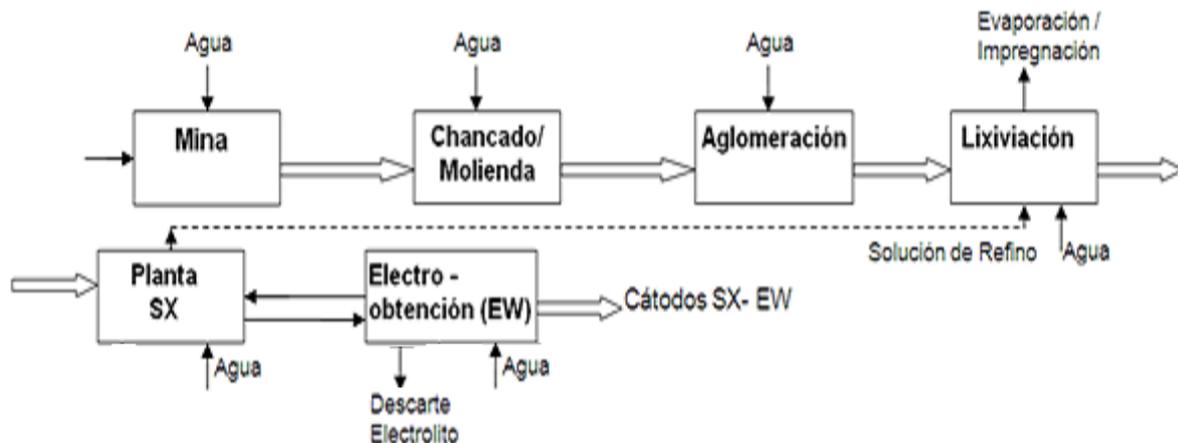
Fuente: Elaboración COCHILCO

Si bien el origen de las pérdidas de agua durante el procesamiento de minerales sulfurados es variado, debido a la complejidad de las plantas concentradoras, el agua puede ser recuperada en distintas instancias, principalmente del espesaje y filtrado de relaves; las aguas claras de los tranques de relaves; el espesaje y filtrado de concentrados.

## 2.2 Hidrometalurgia

En tanto la recuperación de cobre a partir de minerales oxidados y de algunos sulfuros secundarios de cobre se hace a través del proceso hidrometalúrgico, que consta de los procesos de lixiviación (LX), extracción por solventes (SX) y electro-obtención (EW) (Ver Figura 2).

**Figura 2:**  
**Procesamiento Hidrometalúrgico de Producción de Cobre**



Fuente: Elaboración COCHILCO

Los factores más variables en cuanto a consumo de agua son la evaporación en las pilas, el descarte de soluciones (el que depende, entre otros factores, de la cinética de dilución del mineral) y el lavado de las soluciones orgánicas.

Es relevante señalar que cada proceso u operación unitaria presenta diferentes consumos unitarios de agua fresca o make up, tanto porque utiliza en mayor o menor medida volúmenes de agua para contribuir a la eficiencia del proceso como por las diferencias en las condiciones operacionales de las distintas faenas mineras.

### III. EXTRACCIONES DE AGUA FRESCA EN LA MINERÍA DEL COBRE

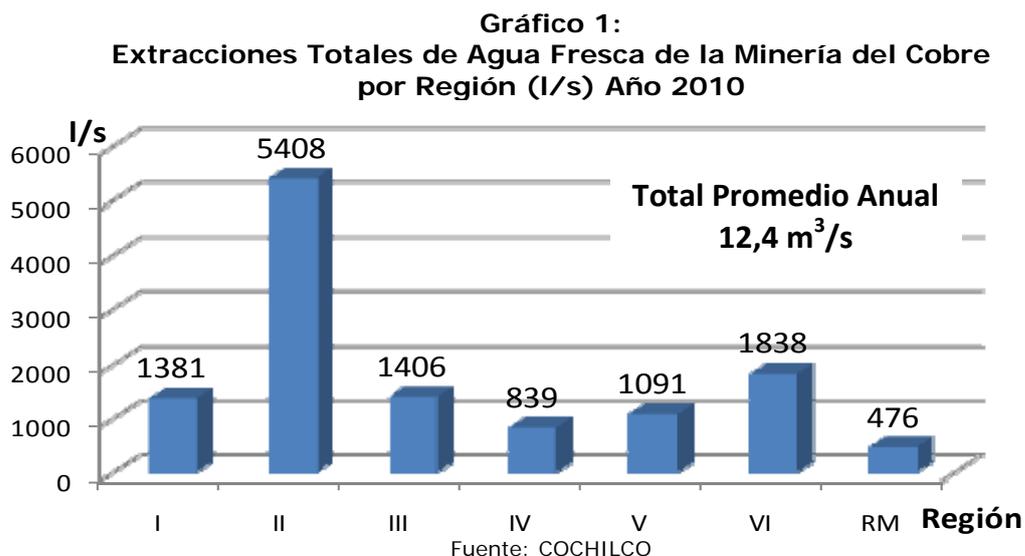
En este capítulo se analiza el consumo de agua en la minería del cobre, tanto del total de las extracciones por región, como el consumo directo en los procesos.

#### 3.1 Extracción de agua fresca por región en el año 2010

Dada la diferente situación de la disponibilidad de agua a lo largo del país, se analiza en primer lugar las extracciones de agua fresca por región.

En gráficos 1 y 2 se muestra los resultados de la recopilación y sistematización de la información sobre extracciones de agua fresca informada por las empresas de la minería del cobre en Chile para el año 2010.

En total, las extracciones de agua informadas alcanzan un promedio anual de 12.439 l/s, lo que equivale a 12,4 m<sup>3</sup>/s.

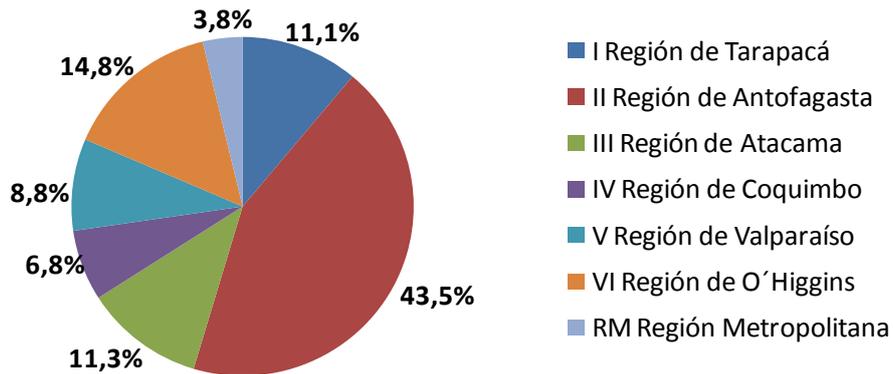


En gráfico 1, se observa en la distribución de extracciones de agua fresca a nivel regional, que la II Región de Antofagasta tiene el máximo consumo de agua fresca con 5.408 l/s en el año 2010, lo que está en directa relación a que Antofagasta comparativamente tiene la mayor producción de cobre con un 55% de la producción total de cobre fino contenido en el país.

En segundo lugar de extracción de agua fresca, se ubica la VI Región de O'Higgins con 1.838 l/s que tiene el 8% de la producción total de cobre en el país, seguido por la III Región de Atacama con 1.406 l/s que figura con el 7% de la producción de cobre y la I Región de Tarapacá con 1.381 l/s que produce

el 13% del cobre total. Luego se ubican la V Región de Valparaíso con 1.091 l/s que tiene un 5% de la producción nacional de cobre y finalmente las menores extracciones de agua fresca están en la IV Región de Coquimbo con 839 l/s y la región Metropolitana con 466 l/s. La V y IV región producen un 4% y 9% respectivamente de la producción total de cobre.<sup>6</sup>

**Gráfico 2:**  
**Distribución de las extracciones por región (%)**



Fuente: COCHILCO

En Gráfico 2, se muestra que en términos porcentuales la II Región representa el 43,5% de las extracciones totales de agua fresca en el país. Luego se ubica la VI Región con el 14,8% respecto a extracciones totales, seguido por la III y I Región que figuran con el 11,3% y 11,1%, respectivamente.

En cambio las regiones centrales, que cuentan con mayor disponibilidad, presentan menores porcentajes de consumo. Es así como la V Región representa un 8,8%, la IV Región, el 6,8% y la Región Metropolitana alcanza sólo al 3,4% de las extracciones totales de agua fresca en Chile en el año 2010.

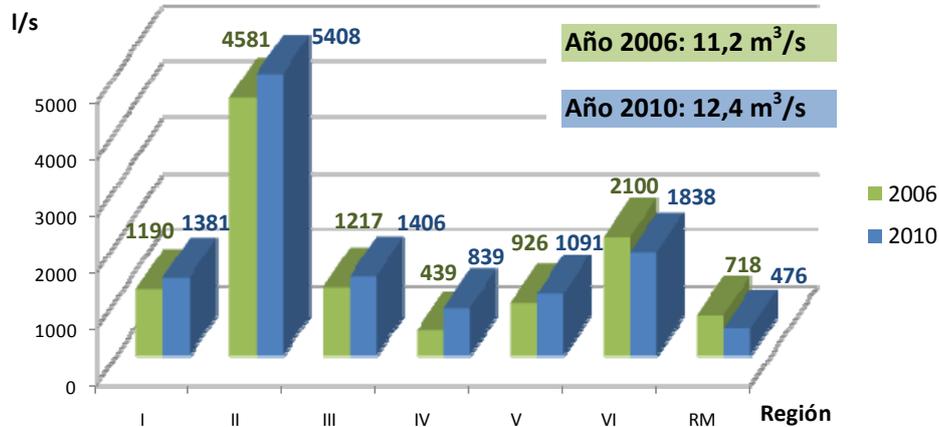
### 3.2 Comparación de extracciones de agua fresca entre los años 2006 y 2010

La evolución de las extracciones de agua fresca por parte del sector minero del cobre entre el año 2006<sup>7</sup> y 2010 se muestra en el siguiente Gráfico 3. En líneas generales, en año 2010 las extracciones de agua fresca son mayores de la I a V Región y han disminuido en la VI y RM respecto al año 2006.

<sup>6</sup> Ver Tabla 2 de Anexo que muestra producción total de cobre por Región en el año 2010

<sup>7</sup> Las cifras del año 2006 están basadas en el estudio publicado en el año 2008 con datos del año 2006 "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centronorte de Chile", elaborado por Proust Consultores (representando a Consejo Minero y la Sociedad Nacional de la Minería) en conjunto con la Dirección General de Aguas

**Gráfico 3:**  
**Comparación de las extracciones totales de agua fresca de la minería del cobre por región (l/s) 2006-2010**



<sup>1</sup> Fuente: Estudio "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centro-norte de Chile", marzo 2008.

<sup>2</sup> Fuente: COCHILCO

A modo de comparación, en el año 2006 para una producción nacional de cobre fino estimada de 5,1 millones de toneladas<sup>8</sup>, las extracciones de agua fresca fueron alrededor de 11,2 m<sup>3</sup>/s. En tanto en el año 2010 para una producción estimada de 5,3 millones de toneladas de cobre fino<sup>9</sup> las extracciones de agua son de 12,4 m<sup>3</sup>/s.

### 3.3 Extracción de agua fresca por procesos

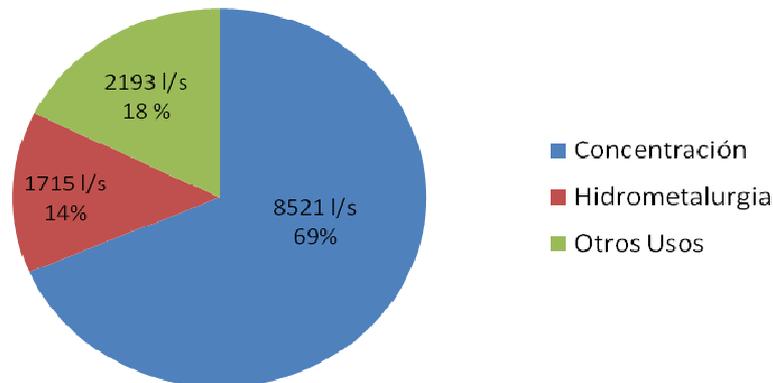
De las extracciones totales de agua fresca de la minería del cobre a nivel país, para la producción de cobre se utilizan 10.236 l/s lo que equivale al 82% de dicho total, correspondiendo el 18% restante a extracciones de agua fresca que son utilizadas en la operación para otros fines no asignables a la producción, tales como servicios, campamento y otros usos.

En el gráfico 4 se observa que el proceso de concentración ocupa 8.521 l/s lo que equivale al 69% de las extracciones totales de agua fresca. En tanto, el proceso hidrometalúrgico ocupa 1.715 l/s equivalentes al 14% de las extracciones a nivel nacional.

<sup>8</sup> Esta cifra representa el 96% de la producción total de cobre en el año 2006 estimada por COCHILCO que fue de 5,36 millones de toneladas

<sup>9</sup> Esta cifra representa el 97% de la producción total de cobre en el año 2009 estimada por COCHILCO que fue de 5,418 millones de toneladas

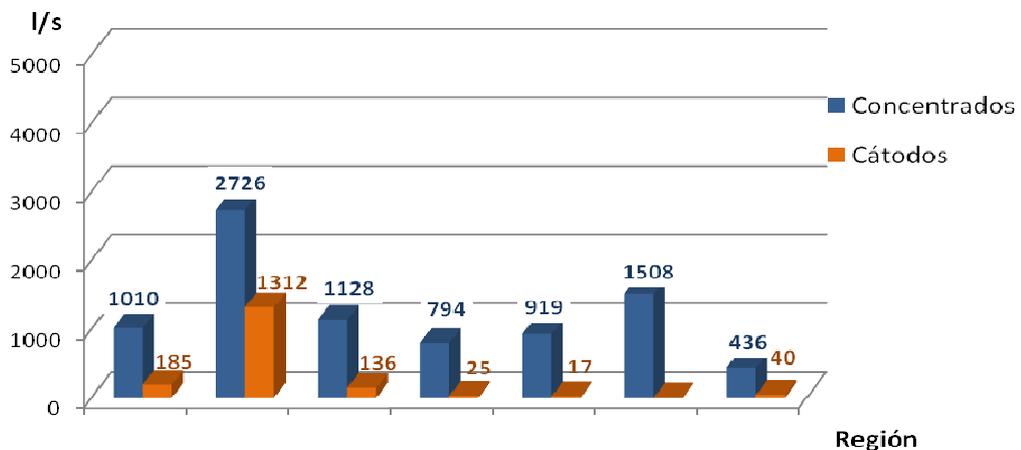
**Gráfico 4:**  
**Distribución de la extracción de agua fresca por destino**  
**Año 2010**



Fuente: COCHILCO en base a información proporcionada por empresas

En Gráfico 5 se muestra los consumos de agua fresca por región para la producción de concentrados y cátodos SxEw.

**Gráfico 5:**  
**Consumos de agua fresca por Región para producción de**  
**concentrados y cátodos SxEw (l/s) Año 2010**



Fuente: COCHILCO en base a información proporcionada por empresas

### 3.3.1 Hidrometalurgia

Respecto a los consumos de agua fresca necesarios para la producción de cátodos SxEw en el país, el Gráfico 5 muestra que comparativamente el mayor consumo de agua fresca está en la II Región, que produce a su vez el 80% de estos cátodos de cobre en Chile. Luego se ubican la I y III Región que representan el 11% y 5% de la producción total de cátodos de cobre. Los menores consumos de agua para producción de cátodos están en el resto de

las regiones IV, V y RM que en conjunto tienen una producción de cátodos de alrededor del 3%.

### **3.3.2 Concentración**

Para la producción de concentrados de cobre, los consumos de agua fresca son también liderados por la II Región por ser la mayor productora de concentrados en el país con el 40%. Luego los mayores consumos de agua fresca para este producto se presentan en la VI Región que produce el 13% de concentrados, seguido por la III Región y I Región que producen el 7% y 14% de producción de concentrados. Comparativamente los menores consumos de agua fresca se presentan en la V Región que tiene el 7% de la producción de concentrados de cobre del país, seguido por la IV Región y Región Metropolitana que producen respectivamente el 13% y 5% de la producción total de concentrados de cobre en el país<sup>10</sup>.

### **3.4 Análisis de la reutilización del agua en la faena**

Conceptos como uso total de agua, consumo total de agua fresca, y porcentaje de extracción de agua fresca ayudan a cuantificar de forma clara la utilización del recurso agua en la faena, contando así con una herramienta cuantitativa y comparable que permita evaluar el desempeño de una faena con respecto a otras faenas o frente a innovaciones tecnológicas o de gestión de la misma empresa.

El proceso hidrometalúrgico mantiene un flujo continuo de soluciones entre sus distintas etapas y la pérdida de agua corresponde principalmente a la evaporación en las pilas, la cual debe ser repuesta inevitablemente por agua fresca. Por ello se excluye de este análisis.

En cambio, para la producción de concentrados las mayores pérdidas se producen en las aguas que quedan en el depósito de relaves, por ende, aquellas faenas para las cuales es factible recircular agua de sus relaves son las que tiene la opción de alcanzar un menor consumo de agua fresca en sus procesos.

Sin embargo, hay faenas donde el depósito y/o los espesadores están ubicados a una significativa menor altura que la respectiva planta concentradora, lo que haría costoso bombear agua de vuelta al proceso y, por ello, considerarse no conveniente recircular el agua. En estos casos, sus consumos de agua fresca tienden a igualar el uso total de agua en la operación.

---

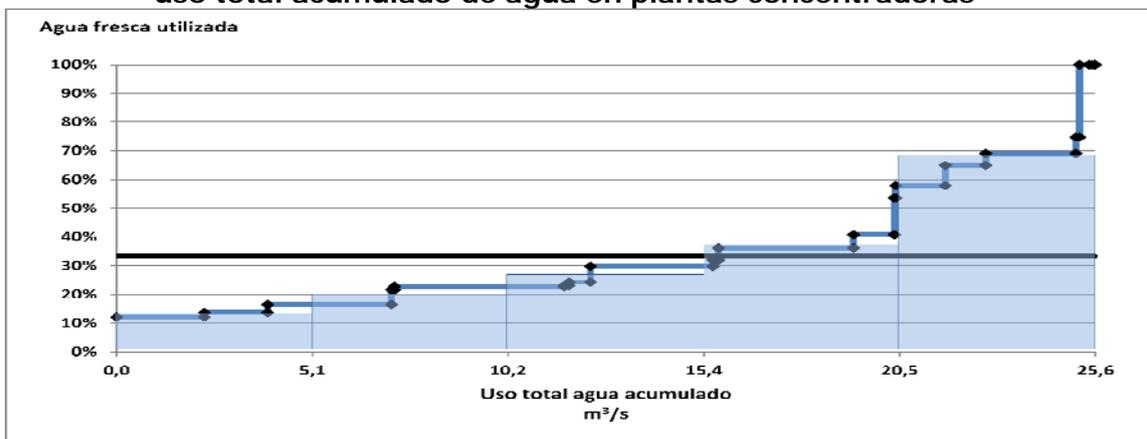
<sup>10</sup> Estimaciones de porcentajes de producción de concentrados y cátodos de cobre SxEw en el país por Región fueron estimados en base a información proporcionada por empresas y el Anuario de Estadísticas del cobre y otros minerales , COCHILCO,2010, Ver Tabla 3 de Anexo.

Del uso total de agua en la faena, aquella proporción de agua que no es posible recircular y que por ende se pierde corresponde al consumo de agua fresca que debe ser extraída de alguna fuente natural. El % de extracción es la relación porcentual entre el consumo de agua fresca y el uso total de agua requerida por la planta concentradora para su operación.

El gráfico 6 relaciona el uso total de agua en las plantas concentradoras con el % de agua fresca que requiere cada planta para su operación. Se construye acumulando en el eje de las abscisas el uso total de agua de las plantas concentradoras, ordenadas de menor a mayor % de extracción.

Su objetivo es analizar el comportamiento de las plantas concentradoras en función de su % de extracción.

**Gráfico 6:**  
**Relación entre % de agua fresca y**  
**uso total acumulado de agua en plantas concentradoras <sup>11</sup>**



Fuente: Elaboración COCHILCO

El total de las plantas concentradoras tienen un uso total de agua de 25,6 m<sup>3</sup>/s, con un promedio nacional de 33,3% de extracción de agua fresca para alimentar sus operaciones.

Al dividir el uso total de agua en quintiles de 5,1 m<sup>3</sup>/s, se puede hacer un análisis más detallado, ya que cada quintil está representado por un rectángulo cuya base es el valor del quintil y cuya altura es el porcentaje promedio de utilización de agua fresca. Es así como se observa que el porcentaje promedio de utilización de agua fresca para el primer quintil de menor tasa de extracción alcanzó a sólo 13,7%. Luego, 20,2% y 27,0% para el segundo y tercer quintil respectivamente.

<sup>11</sup> La abscisa del gráfico contiene el uso total acumulado de agua en cada una de las plantas concentradoras ordenadas de menor a mayor % de extracción de agua fresca para su operación. El uso total está dividido en 5 quintiles de 5,1 m<sup>3</sup>/seg, que constituye la base de cada rectángulo y la altura del representa el % promedio de extracción de agua en cada quintil.

En estos segmentos se puede encontrar a las operaciones con menores porcentajes de utilización de agua fresca, que incluso están por debajo de la media de 33,3% que registra el total de la muestra considerada en este estudio. Si observamos más detenidamente podemos determinar que en este grupo hay alrededor de 5 a 6 operaciones grandes consumidoras globales del recurso agua, con usos cercanos a los 4,44 m<sup>3</sup>/s.

El cuarto quintil, con un 37,3% se ubica algo sobre el promedio. En cambio el quinto quintil tiene un promedio de 68,2%, más del doble del país.

Allí se puede observar que a pequeños aumentos de consumo global de agua existen grandes aumentos de utilización porcentual de agua fresca. Es aquí, como a diferencia de los tres quintiles anteriores, donde se ubica el grueso de los pequeños consumidores globales de agua.

Por lo tanto, las operaciones que se encuentran en los dos últimos quintiles merecen ser focalizadas con prioridad en las futuras medidas de eficiencia hídrica.

Es necesario señalar que el uso de agua de mar directa o desalinizada en los procesos, podría hacer disminuir las extracciones de agua fresca llegando en algunos casos a 0% y bajar significativamente la tasa promedio actual. Este tema es abordado en más detalle en el capítulo VI de este informe.

## IV. CONSUMO UNITARIO DE AGUA FRESCA

El consumo unitario de agua fresca se refiere a la cantidad de agua fresca utilizada para procesar u obtener 1 unidad de materia prima o de producto, según corresponda. Por ejemplo: m<sup>3</sup>/ton mineral tratado, lt/kg Cu fino.

El Cuadro 1 muestra un cuadro comparativo entre los consumos unitarios promedio de agua fresca para los procesos de concentración e hidrometalurgia en el año 2000, 2006 y los estimados por COCHILCO para el año 2009 y 2010.

**Cuadro 1:**  
**Consumos unitario promedio de agua por mineral tratado en procesos de concentración e hidrometalurgia 2000-2010**

PROCESO	Consumo Unitario de Agua Fresca			
	Año 2000 <sup>1</sup> m <sup>3</sup> /ton mineral	Año 2006 <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /ton mineral	Año 2009 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /ton mineral	Año 2010 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /ton mineral
Concentración	1,1 (0,42,30)	0,79 (0,32,1)	0,72 (0,32,0)	0,70 (0,32,9)
Hidrometalurgia	0,3 (0,15-0,4)	0,13 (0,08-0,25)	0,13 (0,07-0,92)	0,13 (0,06-0,8)

<sup>1</sup> Fuente: Documento "Uso Eficiente de Aguas en la industria minera, APL 2002"

<sup>2</sup> Fuente: Estudio "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centro-norte de Chile", marzo 2008.

<sup>3</sup> Fuente: Estudio "Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2009", COCHILCO.

<sup>4</sup> Fuente: Estudio "Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2010", COCHILCO.

### 4.1 En Concentración

En relación al consumo de agua fresca en el proceso de concentración, las cifras señalan que la tasa unitaria de consumo entre el año 2006 y 2010 se ha mantenido dentro de un rango similar, en torno a 0,3-2,9 m<sup>3</sup>/ton. En cambio, los promedios anuales del consumo unitario de agua fresca en concentración muestran una reducción desde 0,79 m<sup>3</sup>/ton a 0,70 m<sup>3</sup>/ton en el mismo período.

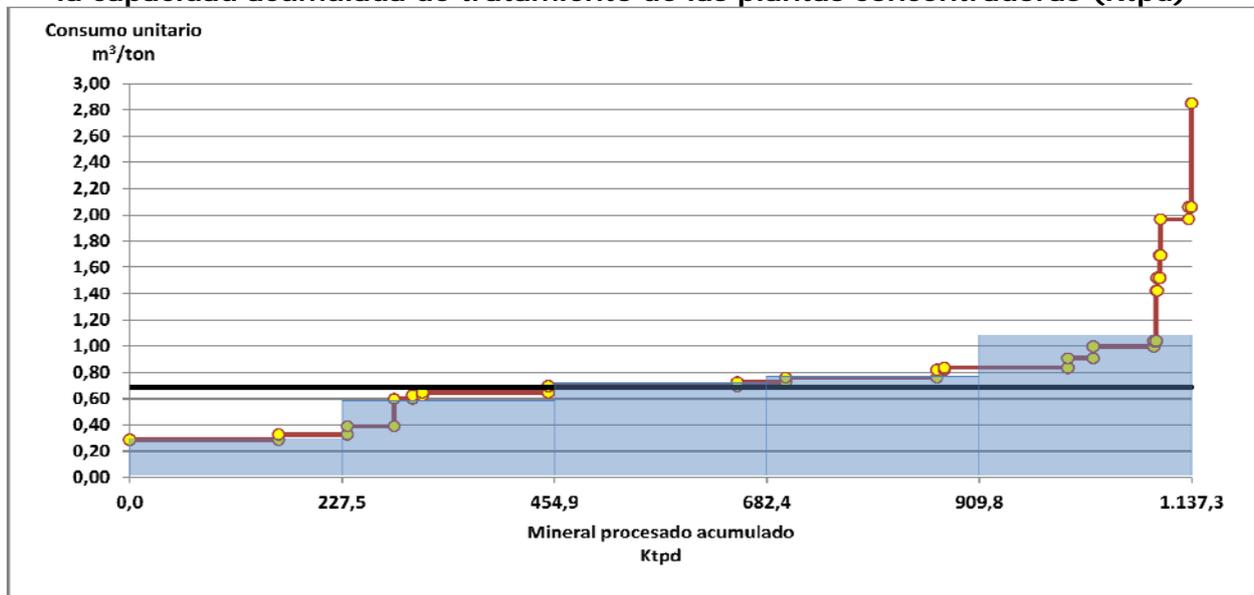
Ahora bien, si se compara los consumos unitarios de agua fresca en la concentración en el año 2000 de 1,1 m<sup>3</sup>/ton con el del año 2010 de 0,70 m<sup>3</sup>/ton, se evidencia el contundente avance en esta década en el mejor uso de agua fresca en la producción de concentrados.

Considerando que el rango de consumo unitario en las plantas concentradoras es aún muy amplio, es necesario focalizar donde se encuentran los consumos unitarios más desfavorables.

El gráfico 7 permite relacionar los consumos unitarios de agua fresca ( $\text{m}^3/\text{ton}$  de mineral) con las capacidades de tratamiento de mineral de las plantas concentradoras (Miles de toneladas de mineral por día ó Ktpd). Se construye acumulando en el eje de las abscisas la capacidad en Ktpd de agua de las plantas concentradoras, ordenadas de menor a mayor consumo unitario de agua fresca.

Su objetivo es analizar el comportamiento de las plantas concentradoras en función de su tamaño.

**Gráfico 7:**  
**Relación entre el consumo unitario de agua fresca ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ) y la capacidad acumulada de tratamiento de las plantas concentradoras (Ktpd)<sup>12</sup>**



Fuente: Elaboración COCHILCO

El total de las plantas concentradoras alcanzan a una capacidad acumulada de 1.137,3 Ktpd, las cuales presentaron el año 2010 un consumo unitario de agua fresca promedio nacional de  $0,7 \text{ m}^3/\text{ton}$  para alimentar sus operaciones.

Al dividir el uso total de agua en quintiles de 227,5 Ktpd, se puede hacer un análisis más detallado de la influencia del tamaño de las plantas en el consumo unitario. Cada quintil, al igual que en el gráfico 6, se muestra en forma de un

<sup>12</sup> La abscisa del gráfico contiene la capacidad de tratamiento de mineral acumulada (Ktpd) en cada una de las plantas concentradoras ordenadas de menor a mayor consumo unitario de agua fresca para su operación.

La capacidad diaria de procesamiento total está dividido en 5 quintiles de 227,5 Ktpd, que constituye la base de cada rectángulo y la altura del representa el consumo unitario promedio de extracción de agua en cada quintil ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ).

rectángulo cuya base corresponde al valor del quintil expresado en Ktpd y su altura es el promedio de consumo unitario de agua en  $\text{m}^3/\text{ton}$  de ese quintil.

Es así como, se puede observar que en el primer quintil aparecen dos faenas con un bajo consumo unitario de agua fresca que promedia  $0,3 \text{ m}^3/\text{ton}$  de mineral procesado, a niveles relativamente altos de producción, encontrándose ambas en sus máximos de eficiencia y escapándose del promedio nacional. En tanto en el segundo, tercer y cuarto quintil se encuentra el grueso de las mineras de cobre que en promedio tienen un consumo unitario que va desde los  $0,4$  a los  $0,7 \text{ m}^3/\text{ton}$  de mineral procesado.

Si se revisa más detenidamente los dos últimos quintiles, se observa que hay un alto número de faenas con producción mediana a pequeña escala que son las que tienen mayores consumos unitarios respecto de las grandes faenas, en un rango que va entre  $0,8$  a  $2,9 \text{ m}^3/\text{ton}$  de mineral procesado.

Esta situación se debe, principalmente, a que la estructura de costos de estas operaciones de mediana o pequeña escala productiva les inhibe optimizar los procesos y recurrir a tecnologías que hagan más eficiente el procesamiento del mineral, lo que incide en un mayor consumo unitario del recurso agua. Otros factores operacionales que pueden incidir también son: dificultad de recirculación de agua desde depósitos de relaves, costo de inversión y operación de equipamiento (bombas) para ayudar a la recirculación de agua, etc.

En cambio los valores más bajos que se evidencian entre el primer y tercer quintil se dan en operaciones de mediana a gran escala en las cuales su estructura de costos si ha permitido la optimización de sus procesos, procurando maximizar la recirculación de sus aguas de industriales y reduciendo así las pérdidas en el proceso de producción.

Al igual que el anterior análisis sobre el efecto en la extracción de agua fresca, el uso de agua de mar directa o desalinizada en los procesos, podría hacer disminuir el consumo unitario de agua fresca llegando en algunos casos a  $0\%$  y bajar también significativamente el consumo unitario promedio actual.

Con todo esto se puede desprender que el ideal de esta curva de consumo unitario es que, en el mediano-largo plazo, tienda a disminuir la media del consumo unitario de las operaciones mineras gracias a las nuevas tecnologías de optimización de procesos que utilizarán los nuevos proyectos en carpeta y al aprendizaje que obtenga de las operaciones eficientes de gran y mediana escala la industria de mediana y pequeña escala productiva.

## 4.2 En Hidrometalurgia

En lo referente a la tasa unitaria de consumo de agua fresca en los procesos de hidrometalurgia esta fluctuaba en un rango de 0,08 a 0,25 m<sup>3</sup>/ton en el año 2006 y entre 0,06 y 0,8 m<sup>3</sup>/ton en el 2010. Los valores más bajos se han mantenido en torno a 0,06 y 0,08 m<sup>3</sup>/ton en el período analizado.

En tanto, en la diferencia en los valores más altos de 0,25 a 0,8 m<sup>3</sup>/ton en período 2006-2010, es importante señalar que la muestra en el año 2010 es más amplia respecto a la analizada en el año 2006 y además abarca empresas de mediana minería del cobre.

Considerando que en el año 2000 el consumo unitario promedio de agua fresca para la hidrometalurgia era de 0,3 m<sup>3</sup>/ton y que, en términos promedio, el consumo unitario de agua fresca se ha mantenido en 0,13 m<sup>3</sup>/ton entre el año 2006, 2009 y 2010, se deduce que, en líneas generales, las plantas hidrometalúrgicas de la minería del cobre han mantenido el avance logrado en esta década respecto al uso eficiente del agua fresca en el proceso lo cual refleja los esfuerzos en todas aquellas operaciones que han aprovechado la recirculación de soluciones, evitando infiltraciones y minimizando la evaporación.

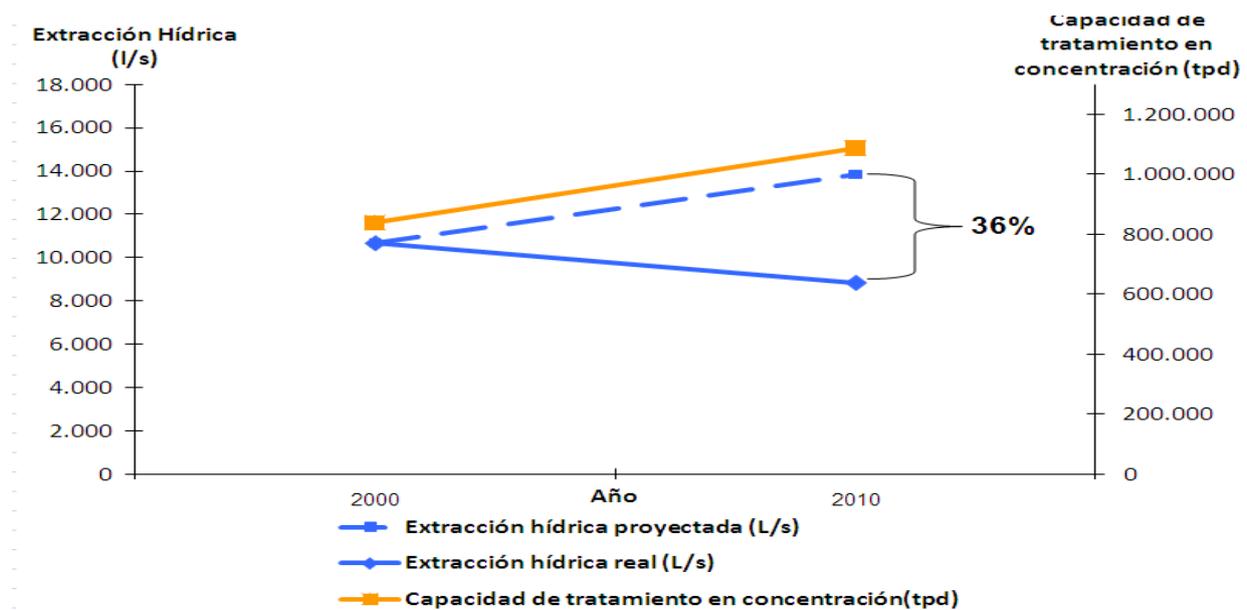
## V. EFICIENCIA HÍDRICA

La eficiencia hídrica se refiere al desarrollo del proceso utilizando la mínima cantidad de agua sin afectar la calidad del proceso en sí.

El resultado de la comparación de la eficiencia hídrica del proceso de concentración e hidrometalurgia, se muestra en los gráficos 8 y 9 respectivamente.

En base a los antecedentes disponibles, se comparó la información levantada en el Acuerdo de Producción Limpia para el año 2000 y publicada en el documento "Uso Eficiente de Aguas en la Industria Minera" el año 2002 y la información 2010 proporcionada por las empresas mineras de cobre para este estudio.

**Gráfico 8:**  
**Eficiencia hídrica en proceso de concentración**

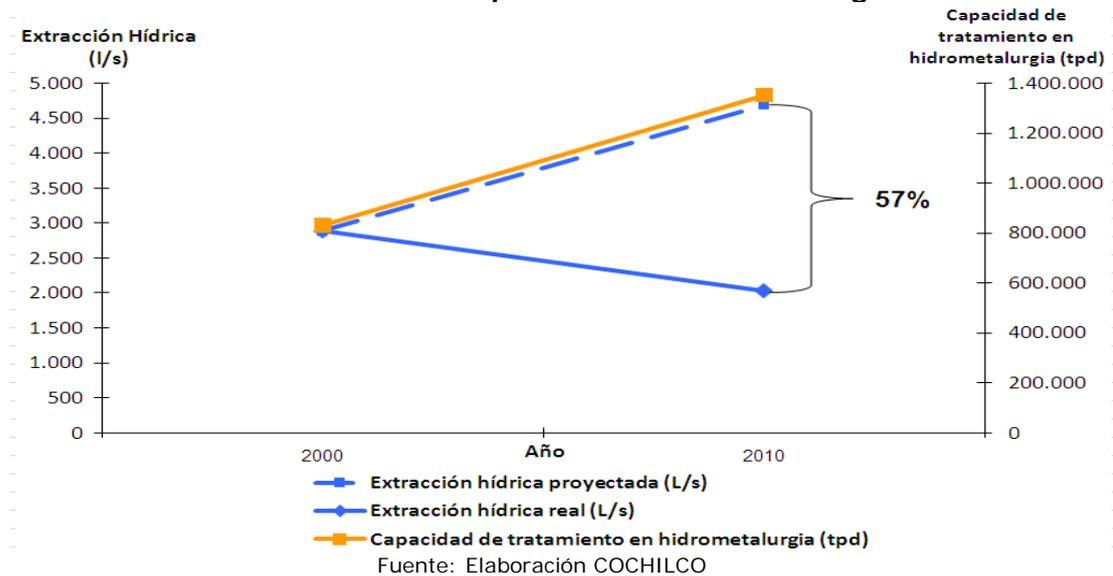


Fuente: Elaboración COCHILCO

Entre el año 2000-2010, en el proceso de concentración se observa que hay un aumento en la eficiencia hídrica de un 36%, pese al incremento lineal de la capacidad de tratamiento en concentración de cobre (toneladas por día).

En Gráfico 8, para el mismo período analizado se observa que en el proceso de hidrometalurgia hay un aumento en la eficiencia hídrica de un 57%, pese al incremento lineal de la capacidad de tratamiento en concentración de cobre (toneladas por día).

**Gráfico 9:  
Eficiencia hídrica en proceso de hidrometalurgia**



Estos gráficos evidencian como el sector minero ha reaccionado ante la escasez hídrica aumentando los niveles de eficiencia, a partir de soluciones tecnológicas, y/o invirtiendo en nuevas alternativas que reduzcan la demanda y aumenten la oferta de agua, tales como el uso eficiente del agua en las operaciones, incluyendo su recirculación; mejoramiento de la gestión en la operación de relaves, como por ejemplo, el desarrollo de equipos de espesamientos que garanticen altas concentraciones de sólidos para producciones industriales a gran escala y la selección de sitios con fácil control de filtraciones; el uso de nuevas fuentes, como por ejemplo, agua desalinizada; entre otras.

Cabe señalar al respecto, que si bien pueda seguir incrementándose la eficiencia en el consumo de agua en los procesos de concentración e hidrometalurgia por parte de la gran minería del cobre, hay diversas faenas que ya han alcanzado máximos de eficiencia en estos procesos y que difícilmente puedan alcanzar mayores eficiencias.

Considerando este hecho y sumado a la creciente demanda de agua por parte del sector en los próximos años debido a futuras expansiones de los proyectos existentes, el desarrollo de nuevos proyectos mineros y la tendencia decreciente en las leyes de los minerales tratados y en las recuperaciones del proceso<sup>13</sup>, el suministro de agua continua siendo uno de los mayores desafíos al que se ve enfrentada el desarrollo de la minería en el país.

<sup>13</sup> Esto implica que a menor ley y recuperación para producir 1 tonelada de cobre fino se requiere procesar una mayor cantidad de mineral y por tanto se necesita un mayor volumen de agua en el proceso productivo.

## **VI. USO DE AGUA DE MAR EN LAS OPERACIONES MINERAS**

En un escenario de limitada disponibilidad de recurso hídrico el desarrollar mecanismos que permitan aumentar la oferta de agua como lo es el uso de agua de mar, ya sea directo o desalinizada en los procesos productivos, aparece como una atractiva alternativa de suministro. En cualquier caso, existe una importante dificultad derivada de la necesidad de transportar el agua de origen marítimo al lugar de las faenas mineras que, por lo general, se encuentran a elevada altura sobre el nivel del mar. Dicho transporte, además de requerir inversiones en infraestructura, demanda altos consumos de energía lo que - en un escenario de disponibilidad energética restrictivo - conlleva aumentos significativos de costos.

### **6.1 Uso directo de agua de mar en operaciones mineras**

En relación al uso directo de agua de mar, es posible de aplicar en faenas que tengan la infraestructura necesaria para resistir la salinidad presente en el agua y en las que el mineral por su características mineralógicas así lo permita.

Ambos requisitos establecen una importante barrera de entrada para los proyectos antiguos, ya que habría que evaluar la factibilidad técnica (mineralización del yacimiento) y económica (características de los equipos e instalaciones) de la operación, antes de iniciar cualquier proyecto de sustitución de agua dulce por agua de mar. Por ello, el uso directo de agua de mar, es más bien una opción factible para proyectos nuevos.

### **6.2 Desalinización**

La desalinización es un proceso mediante el cual se elimina el contenido de sales del agua de mar teniendo como producto agua dulce.

El desarrollo de la tecnología ha permitido que en hoy en día la desalinización de agua de mar sea una opción factible tanto técnica como económica de obtener agua fresca, ya sea para consumo industrial o humano. Actualmente el uso de agua desalinizada en proyectos mineros<sup>14</sup> ya representa una posibilidad concreta de suministro de agua alternativo a la extracción de agua fresca.

Por ello aparece como una alternativa interesante que debe ser explorada en detalle, para lo cual se reseña brevemente los procesos de desalinización utilizados a nivel mundial, esto es, aquellos realizados a través de la

---

<sup>14</sup> Tanto para proyectos existentes como para futuras expansiones y proyectos nuevos.

destilación o los que utilizan membranas para la extracción de las sales del agua.

### **6.3 Desalinización a través de destilación**

Estos procesos se basan en el principio de evaporación para separar las sales del agua dulce. En este caso, el agua de mar debe ser calentada de forma que el agua pura sea contenida en el vapor así generado y, las partículas más pesadas que se queden en la solución salina, constituyen la salmuera. El vapor se condensa, mientras que la salmuera es evacuada.

Una característica importante en estos procesos es que son intensivos en el uso de energía, lo que eleva los costos de operación. Además, la tasa de recuperación de agua dulce en estos procesos es bastante más baja respecto a otras tecnologías como por ejemplo, frente a la ósmosis reversa. Ejemplo de estos procesos son la Evaporación Multietapa, que consta de una serie de evaporadores a distinta presión y la Comprensión por Vapor, que es una técnica equivalente a la anterior pero a cuyo sistema se le ha agregado un compresor que provee el calor necesario para llevar el agua de mar a ebullición para que se evapore.

En general, usar las tecnologías antes mencionadas en lugares donde se dispone de energía térmica bajo la forma de vapor de baja presión es una gran ventaja. Por ello un lugar propicio es junto a plantas termoeléctricas y que pueden aprovechar la energía allí liberada para que la planta de desalinización utilice estas tecnologías de destilación.

### **6.4 Desalinización a través de membranas**

Los procesos de membranas son procesos de separación a presión, en los cuales el agua pasa a través de una membrana semipermeable. Con esta membrana el agua de mar a ser tratada es separada en un flujo de filtrado o agua dulce, y una cantidad restante de concentrado o salmuera. En la salmuera son acumulados las sales y contaminantes contenidos en el agua de alimentación que han sido rechazados por la membrana. El perfeccionamiento de nuevas membranas ha permitido reducir considerablemente el consumo energético, mejorando la eficiencia del proceso y disminuyendo su costo. De esta manera, la osmosis reversa se ha convertido en el proceso más extendido para la generación de agua dulce a partir de agua de mar.<sup>15</sup>

En las últimas décadas el desarrollo de tecnologías como la osmosis reversa y el perfeccionamiento de nuevas membranas ha permitido que las plantas de

---

<sup>15</sup> Fuente: *Desalination Workshop*, Seminario Internacional WIM2010.

desalinización hayan alcanzado niveles importantes de producción de agua fresca con una reducción considerable del consumo de energía en la planta de desalinización.

En la osmosis reversa el agua de mar pasa a través de membranas semipermeables impulsada por una bomba que eleva su presión hasta un valor superior al de su presión osmótica natural<sup>16</sup>, es decir, se aplica una presión superior a la osmótica que comprime el agua de mar contra la membrana semipermeable, haciendo que esta pase hacia el otro lado de la membrana, en el sentido inverso de la osmosis natural obteniéndose así el agua desalada.

Un elemento sensible en el proceso de osmosis reversa, es que para que éste se realice de forma óptima, es fundamental que el agua que llega a la planta contenga la menor cantidad de material orgánico. Por ello, una vez captada el agua de mar es necesario un pretratamiento de ésta antes de su entrada a la planta.

El agua pretratada es impulsada por bombas hasta un grupo de filtros y, una vez filtrada puede ser procesada por osmosis reversa. En esta etapa, la conversión es en promedio del 50%, lo que significa que del total del agua que ingresa el sistema un 50% se convertirá en agua desalinizada, la que finalmente irá a tanques de almacenamiento, para finalmente ser impulsada al lugar que se requiera. El agua restante, que corresponde a la salmuera, es devuelta al mar.

Para el mantenimiento y funcionamiento óptimo del sistema de desalinización es importante que los filtros se retrolaven y las tuberías se sometan a un proceso de limpieza de material orgánico.

## **6.5 Aspectos a considerar de las plantas desalinizadoras**

Existen desafíos a enfrentar o resolver relativos al funcionamiento de las plantas desalinizadoras y en particular utilizando la tecnología de la osmosis reversa, como se estima sería el caso chileno. Entre los principales está el costo y suministro de energía, la mejora de la toma de agua y la devolución de la salmuera al mar.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> La ósmosis natural es la transferencia de agua pura a una solución de agua salina separadas por una membrana semipermeable. El nivel de la solución salina asciende hasta que la presión generada por la columna de líquido anula el flujo de agua pura.

<sup>17</sup> Fuente: Dealination Workshop, Seminario Internacional WIM2010.

### **6.5.1 Captura de agua de mar**

Particularmente en las costas de Chile, dado que el océano Pacífico tiene una gran biodiversidad, el agua succionada contiene una amplia variedad de flora y fauna marina, por tanto, debe analizarse en detalle la ubicación (profundidad del fondo marino y a una distancia determinada de la costa) de manera tal que minimice la extracción de especies en comparación a la captación de agua superficial, reduciendo así el impacto en los ecosistemas marinos por la toma del agua.

### **6.5.2 Descarga de salmuera en el mar**

En general en un proceso de desalinización por osmosis reversa, cerca del 50% del agua de mar tratada corresponde a salmuera, la que contiene aproximadamente el doble de concentración de sales comparada al mismo volumen de agua de mar.

Luego, el vertimiento de la salmuera al mar podría elevar las concentraciones de sal, afectando negativamente los ecosistemas marinos<sup>11,18</sup>. Por ello es recomendable la generación de un modelo matemático que tome variables como el oleaje, las mareas, disolución de la salmuera, entre otras variables, de manera de poder predecir correctamente el comportamiento de la salmuera en el medio marino. Así, posteriormente, se puede no sólo determinar en forma concreta el efecto de la salmuera, sino que además –y más importante aún–, minimizar su impacto sobre los ecosistemas marinos.

### **6.5.3 Consumo de Energía**

Una planta desalinizadora con una capacidad de 500 l/s y que utiliza la técnica de la osmosis reversa, tiene un consumo promedio de energía estimado en 3,4 KWh/m<sup>3</sup> de agua desalinizada, el que en promedio representa cerca del 80% del costo total de desalinización<sup>19</sup>. No obstante una vez desalinizada el agua de mar, es necesario impulsarla al lugar de destino.

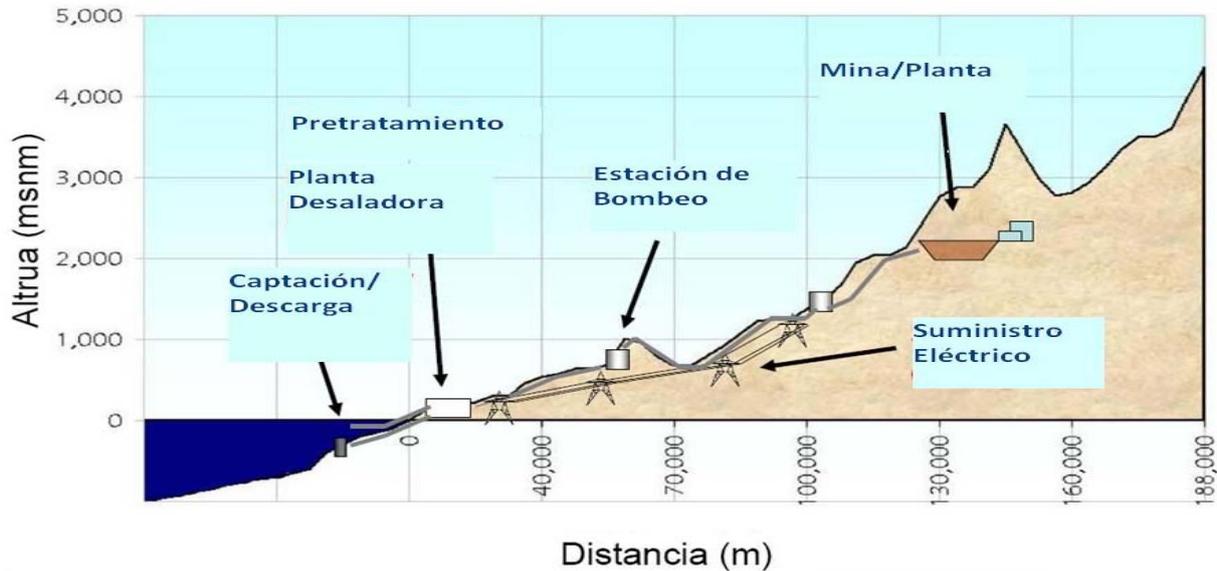
En la Figura 3 se muestra un esquema tipo del suministro de agua desalinizada a una faena en el caso de Chile.

---

<sup>18</sup> Kröber Jürgen , " Técnicas Innovativas de Desalinización de Aguas Salobres y del Mar", 2000.

<sup>19</sup> Libro " Buenas Prácticas y Uso Eficiente del Agua en la Minería", Cochilco, Octubre 2008.

**Figura 3:**  
**Esquema de suministro de agua desalinizada**  
**a una faena minera**



Fuente: Hatch Ingenieros y Consultores, Chile

En general las características geográficas de la localización de las faenas chilenas son cortas distancias desde la costa (alrededor de 180 Km) y gran altitud respecto al nivel del mar (promedio 3000 m.s.n.m) Para ello, se requieren -al menos-, 4 estaciones de bombeo que, en promedio, consumen 14 KWh/m<sup>3</sup> de energía, lo que equivale a 4 veces el consumo requerido para desalinizar el agua<sup>20</sup>.

De lo anterior sumado a la consideración de un escenario de disponibilidad energética restrictivo en el país, es evidente el desafío en cuanto al consumo de energía que plantea la operación de plantas desalinizadoras y el transporte del agua desalinizada, ya que la suma de las demandas energéticas por parte de cada planta actualmente en operación más los nuevos proyectos, representarían una importante carga para el actual sistema de abastecimiento energético del norte del país SING y SIC.

<sup>20</sup> Una planta desalinizadora con una capacidad de 500 l/s y que utiliza la técnica de la osmosis reversa, tiene un consumo promedio de energía de 3,4 KWh/m<sup>3</sup> de agua desalinizada, el que en promedio representa cerca del 80% del costo total de desalinización.

## VII. CONCLUSIONES

- Las extracciones de agua informadas por las empresas mineras del cobre para el año 2010 alcanzan un promedio anual de 12,4 m<sup>3</sup>/s. Cabe señalar al respecto que esta cifra no incluye compras de agua a terceros ni uso de agua de mar por parte de las operaciones mineras.
- Ello corresponde en promedio a casi un tercio del total país de uso de agua en sus operaciones.
- En términos porcentuales, la II Región representa el 42% de las extracciones totales de agua fresca en el país. Luego se ubica la VI Región con el 15% respecto a extracciones totales, seguido por la III Región que figura con el 12%, la I Región con el 11% y finalmente las Regiones V con un 9%, Metropolitana con el 4% y la IV Región que tiene el 7% de las extracciones totales de agua fresca en Chile en el año 2010.
- En relación al consumo unitario de agua fresca para la producción de concentrados este es de 0,70 m<sup>3</sup>/ton y para la producción de cátodos es de 0,13 m<sup>3</sup>/ton de mineral procesado.
- En el periodo 2000-2010 se ha observado un importante desacople entre las curvas de capacidad de producción, tanto para concentración como para hidrometalurgia, y la de consumos de agua, evidenciando un sostenido aumento en la eficiencia de uso del recurso hídrico del sector minero del cobre.
- En términos porcentuales el proceso de concentración tiene un aumento en la eficiencia hídrica de un 36% en periodo 2000-2010 en tanto el proceso de hidrometalurgia en un 57%.
- Dada la estrechez de disponibilidad de agua en las regiones del Norte, la minería enfrenta el desafío de bajar el porcentaje de extracción de agua fresca respecto al uso total de agua, como también la tasa de consumo unitario por tonelada de mineral tratado.
- El incremento de la recirculación de agua y el empleo de agua de mar, que requieren de tecnología, inversión y mayores costos de operación – se visualizan como las vías más factibles para enfrentar dicho desafío

## ANEXO

**Tabla 1: Operaciones de la minería del cobre consideradas en este estudio**

REGIÓN	OPERACION	OPERADOR	Tipo
I	Collahuasi	Doña Inés de Collahuasi	Concentrados SX-EW
	Quebrada Blanca	Teck	SX-EW
	Cerro Colorado	BHP Billiton	SX-EW
II	Mantos Blancos	Anglo American Chile	Concentrados SX-EW
	Planta Callejas Zamora	Cerro Dominador	Concentrados SX-EW
	Las Cenizas Taltal	Las Cenizas	Concentrados
	Planta Sta. Margarita	Cerro Dominador	SX-EW
	Escondida Escondida Pilas Escondida Lix.Sulfuros	BHP Billiton	Concentrados SX-EW
	Chuquicamata Sulfuros RT Mina Sur Chuqui RT Gaby	Codelco Norte	Concentrados SX-EW
	Zaldivar	Barrick	SX-EW
	Spence	BHP Billiton	SX-EW
	El Tesoro	Antofagasta Minerals	SX-EW
	Michilla	Antofagasta Minerals	SX-EW
	El Abra	Freeport Mc Moran	SX-EW
	Lomas Bayas	Xstrata	SX-EW
III	Salvador	Codelco Chile	Concentrados SX-EW
	Candelaria	Freeport Mc Moran	Concentrados
	Ojos del Salado	Freeport Mc Moran	Concentrados
	Planta Vallenar	ENAMI	Concentrados SX-EW
	Planta Matta	ENAMI	Concentrados SX-EW
	Manto Verde	Anglo American Chile	SX-EW
	Salado	ENAMI	SX-EW
IV	Los Pelambres	Antofagasta Minerals	Concentrados
	Planta Delta	ENAMI	Concentrados SX-EW
	Andacollo	Teck	Concentrados SX-EW
V	El Soldado	Anglo American Chile	Concentrados SX-EW
	Las Cenizas Cabildo	Las Cenizas	Concentrados
	Andina Rajo	Codelco Chile	Concentrados
VI	El Teniente	Codelco Chile	Concentrados SX-EW
	Valle Central	Amerigo Resources	Relaves de Teniente
Metropolitana	Los Bronces	Anglo American Chile	Concentrados SX-EW

**Tabla 2: Producción total de cobre por Región año 2010**

REGIÓN	PRODUCCIÓN miles de toneladas de Cu fino	% PRODUCCIÓN Cu fino
<b>I</b>	679	13%
<b>II</b>	2.916	55%
<b>III</b>	350	7%
<b>IV</b>	452	9%
<b>V</b>	238	4%
<b>VI</b>	441	8%
<b>RM</b>	221	4%

Fuente: COCHILCO en base a información proporcionada por empresas encuestadas

**Tabla 3: Producción de Cobre por Producto y Región año 2010**

REGIÓN	PRODUCCIÓN miles de toneladas de Cu fino Concentrados	% PRODUCCIÓN Concentrados	PRODUCCIÓN miles de toneladas de Cu fino Cátodos	% PRODUCCIÓN Cátodos
<b>I</b>	465	14%	214	11%
<b>II</b>	1.318	40%	1.598	80%
<b>III</b>	243	7%	106	5%
<b>IV</b>	434	13%	15	1%
<b>V</b>	233	7%	5	0%
<b>VI</b>	437	13%	4	0%
<b>RM</b>	175	5%	47	2%

Fuente: COCHILCO en base a información proporcionada por empresas encuestadas

Este trabajo fue elaborado en la  
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por

ROSSANA CRISTINA BRANTES ABARCA

VICENTE PÉREZ VIDAL  
Director de Estudios y Políticas Públicas (S)

Octubre 2011