



Consumo del agua en la minería del cobre al año 2014

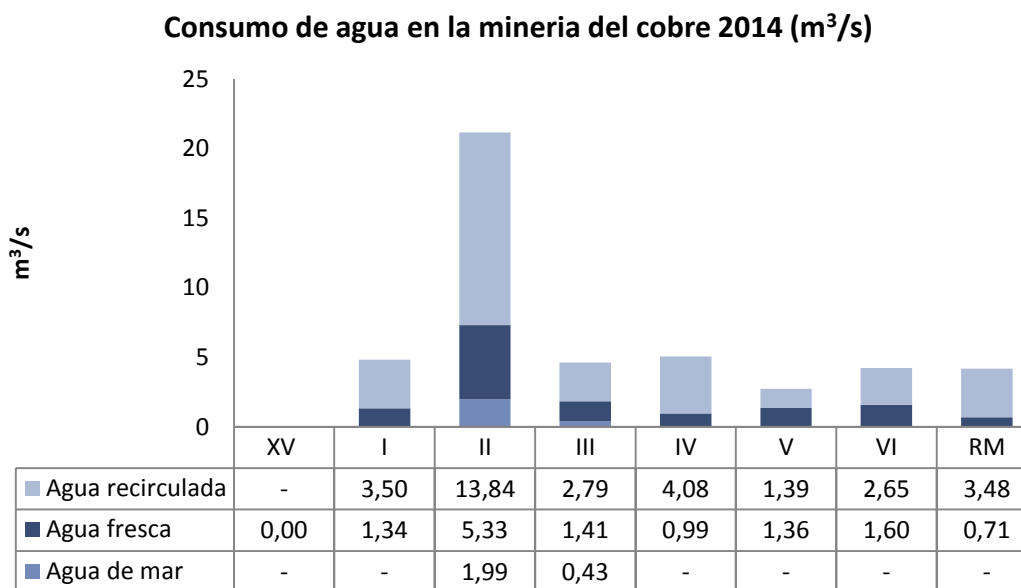
DE 02/2015

Resumen ejecutivo

El agua corresponde a un insumo estratégico para la industria minera del cobre, tanto por su consumo en los procesos productivos como por la situación de escasez hídrica que enfrenta el país. En virtud de ello, la Comisión Chilena del Cobre, gracias a la información de las empresas, realiza anualmente el monitoreo del consumo de agua de la minería del cobre, visibilizando y transparentando la información a los distintos agentes del Estado.

Para el año 2014, los resultados indican que el consumo de agua fresca fue de 12,7 m³/s, aumentando un 1,9% en relación al año anterior. Del total de este consumo, un 70% fue destinado al procesamiento de minerales sulfurados para la generación de concentrado de cobre, mientras que un 14% a la generación de cátodos por la vía hidrometalúrgica.

El siguiente gráfico permite apreciar el origen del agua total consumida, destacando el agua recirculada y el agua de mar, totalizando 31,7 m³/s y 2,4 m³/s respectivamente.



En términos de eficiencia en el consumo, se destaca la disminución en las tasas unitarias por mineral procesado para distintas operaciones de producción de cobre de mina, disminuyendo a 0,53 m³/t en el caso de plantas concentradoras (6,9% menos en relación al 2013) y a 0,08 m³/t para el caso del procesamiento vía hidrometalurgia (13,7% menos en relación al año 2013).



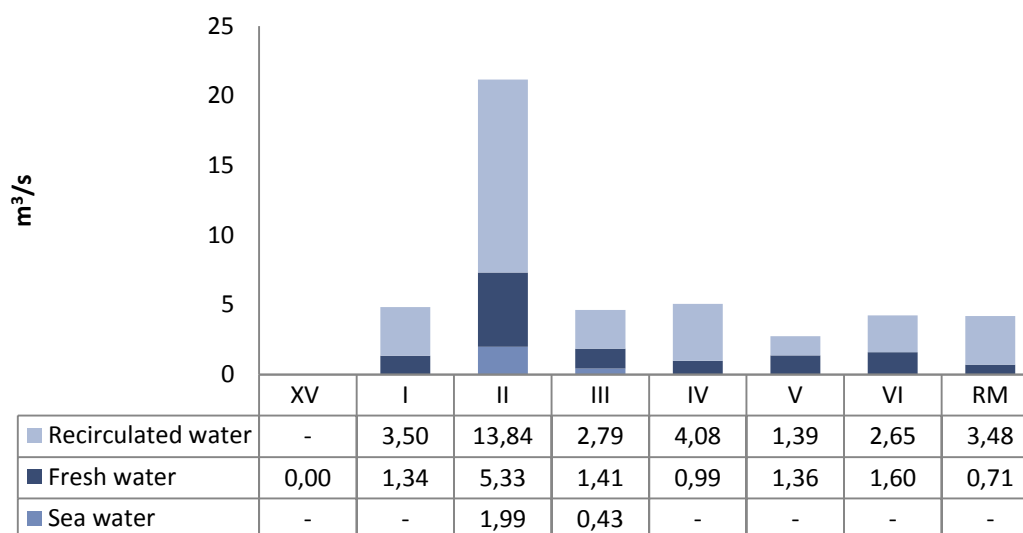
Abstract

Water is a strategic resource in Chilean copper mining, explained by its consumption on metallurgical processes as for water shortage in Chile. According to that, Chilean Copper Commission (COCHILCO) annually generates its Water Consumption in Copper Mining Report, through data given by mining companies, contributing to market transparency to every agent involved.

Results for 2014 indicate that total fresh water consumption was 12.7 m³/s increasing 1.9% respects previous year. Processing of copper sulphides represents 70% of total consumption, while 13% consists in cathode production by hydrometallurgical process.

In terms of sources of water, recirculated water accounts for 31.7 m³/s and sea water was 2.4 m³/s. Next figure illustrates such sources on a regional level.

Water consumption in Chilean copper mining in 2014 (m³/s)



Efficiency in water usage in mining is measure by unit consumption (rate of volume of water by tons of mineral processed) for every mine copper site. This index decrease to 0.53 m³/t for milling mines (6.9% less than 2013 consumption) and 0.08 m³/t for leaching operations (13.7% less than 2013 consumption).



Contenido

1	Introducción.....	1
2	Metodología.....	2
3	Consumo de agua fresca.....	4
3.1	Consumos regionales	4
3.2	Consumo según proceso minero	5
3.3	Fuentes de extracción	6
4	Eficiencia en el consumo	2
4.1	Coeficientes unitarios	2
4.2	Recirculación de agua	5
4.3	Operaciones con agua de mar	5
5	Comentarios finales	9
6	Anexos.....	10
6.1	Glosario	10
6.1.1	<i>Extracción de agua</i>	10
6.1.2	<i>Procesamiento</i>	12
6.1.3	<i>Reutilización</i>	15
6.2	Encuesta recursos hídricos.....	15



1 Introducción

El agua corresponde a un insumo en la minería nacional en cuyo carácter de estratégico existe amplio consenso. Además del rol en los procesos productivos de beneficio de minerales de cobre, el agua requiere ser utilizada por otros sectores productivos, consumo humano y por los ecosistemas. La competencia entre los sectores en un estado de mayor estrechez hídrica ha llevado al poder ejecutivo a nombrar un delegado presidencial para los recursos hídricos, con el objetivo de asesorar en materia de gestión eficiente de los recursos, coordinar las políticas públicas y a los distintos actores relacionados, formular propuestas y apoyar a los distintos ministerios e instituciones públicas. El nombramiento anterior va de la mano con la creciente preocupación por la falta de agua en las distintas regiones del país.

La menor disponibilidad de agua en el país se presenta de manera más brusca en la zona norte, en donde se concentra la mayor parte de la actividad minera de Chile. Lo anterior ha motivado a las empresas mineras a abrirse a nuevas fuentes de abastecimiento para asegurar la producción o mantener distintas propuestas de valor ante sus comunidades. Bajo este concepto, el uso de agua de mar, salada o desalada, ha comenzando a ser una constante en la evaluación de distintos proyectos y una solicitud constante por un sector de la ciudadanía para mantener la sustentabilidad del sector en su ámbito social.

Considerando el contexto previamente descrito, el estudio del consumo de agua en minería se presenta como un trabajo de carácter permanente para la Comisión Chilena del Cobre, el cual tiene por objetivo monitorear el uso de agua en los distintos procesos de la minería del cobre, aumentar la disponibilidad y transparencia del sector en temas críticos y servir como base para el análisis de las discusiones públicas.

El presente informe contiene en primer lugar una explicación de la metodología utilizada para la determinación del consumo de agua en la minería del cobre, seguido por los principales datos y variables recopiladas. Luego se realiza un análisis de las principales variables que se relacionan con la eficiencia del uso de agua en la minería, como lo son los consumos unitarios, la recirculación en los procesos y las operaciones que consideran distintas formas de agua de mar.

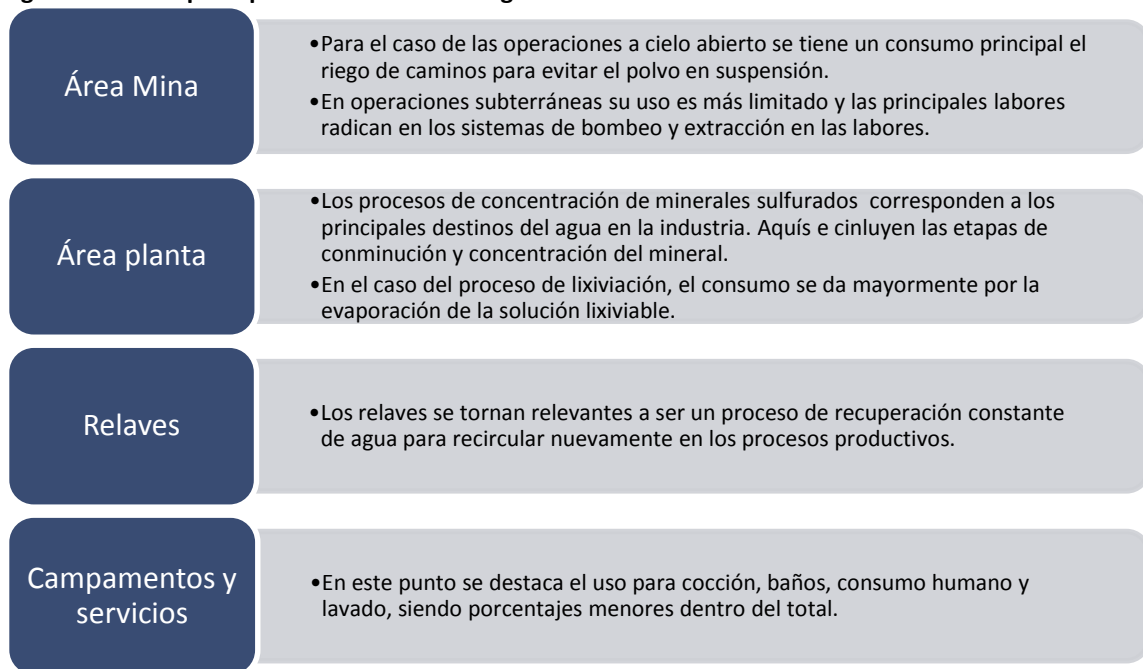


2 Metodología

Este estudio se realiza gracias a la colaboración entregada por las empresas mineras, la que permite la recopilación de información a través de las encuestas de consumo de agua (indicadas en el anexo 6.2), operaciones que para el 2014 correspondieron a un 97% de la producción chilena de cobre.

Para la estructuración de la información, se han considerado los distintos procesos involucrados en la producción de cobre en el país. De manera general, se identifican 4 distintas áreas de consumo de agua de la industria minera del cobre:

Figura 2-1 Áreas principales de consumo de agua consideradas. Fuente: COCHILCO.



Asociado a los conceptos de consumo de agua deben distinguirse aquellos referidos a agua fresca y agua total. En primer lugar, la extracción de agua fresca se refiere a las extracciones provenientes de aguas superficiales como aguas lluvias, escorrentías, embalses superficiales, lagos, 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. En segundo lugar, el agua total se refiere a la totalidad de agua consumida en los procesos productivos, lo cual además del agua fresca, incluye el agua recirculada desde otros procesos y la proveniente del mar. Un mayor detalle de los términos se encuentra en el anexo 6.1.



Considerando las definiciones anteriores y la muestra de productores, es necesario extrapolar el consumo de agua fresca para la totalidad de la producción de cobre del país, lo cual se realiza a nivel regional entre las regiones de Tarapacá y Del Libertador General Bernardo O'Higgins. La extrapolación se realiza considerando los totales de producción regional indicados anualmente por el SERNAGEOMIN y el porcentaje de representatividad de las encuestas según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Representatividad región } i \text{ (\%)} R_i = \frac{\sum_{j=1}^n Cu_{ij}}{TMF_i} \quad (1)$$

$$\text{Extracción agua fresca por año región } i \text{ (m}^3\text{/año)} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{ij}}{R_i} \quad (2)$$

El término Cu_{ij} representa la producción de cobre de la operación j en la región i , mientras que TMF_i corresponde al total producido por todas las fuentes en la región. La variable Q_{ij} agrupa el consumo de agua fresca de la operación j ubicada en la región i .



3 Consumo de agua fresca

El presente capítulo muestra los principales resultados correspondientes al consumo de agua fresca en la minería del cobre en el país para el año 2014. En primer lugar se indican los valores para cada región con disponibilidad de datos, luego se detallan los consumos según el tipo de proceso (minerales oxidados y sulfurados) y finalmente se muestra el origen del agua fresca utilizada.

3.1 Consumos regionales

El año 2014 el consumo total de agua fresca por parte de la minería del cobre fue de 12,7 m³/s, aumentando el consumo total en un 1,9% respecto al año 2013. La evolución del consumo y del mineral procesado se muestra en la Tabla 3-1:

	Unidad	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación 2013 – 2014
Agua fresca	l/s	12.270	12.651	12.564	12.379	12.497	12.737	1,9%
Mineral procesado	Mton	891,8	919,2	912,7	1.018,6	1.087,7	1.189,6	9,4%

Tabla 3-1 Consumo total de agua fresca en la minería del cobre en el período 2009 - 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.

A nivel regional, el consumo es liderado por Antofagasta, región que produce cerca del 53% del cobre en Chile utilizando un 42% del total de agua fresca en el país. La información regional se indica en las figuras Figura 3-1 y Figura 3-2:

Figura 3-1 Extracción de agua fresca (l/s) a nivel regional de la minería del cobre el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.

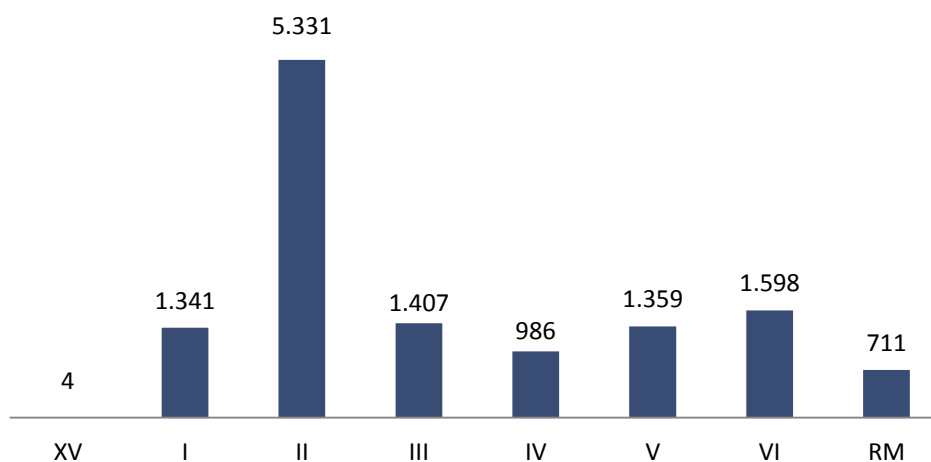
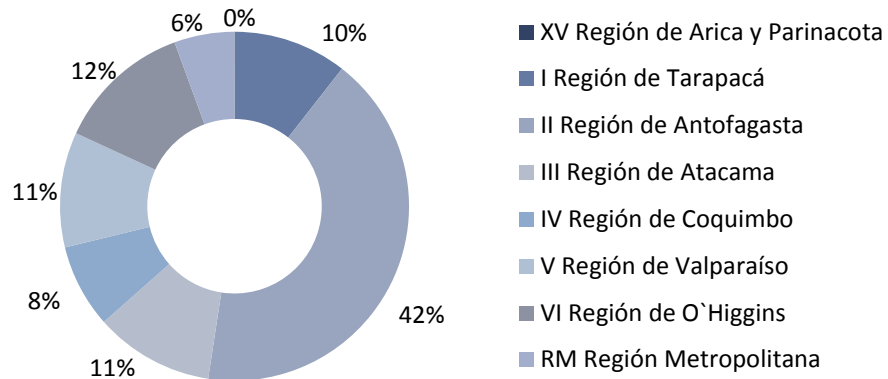
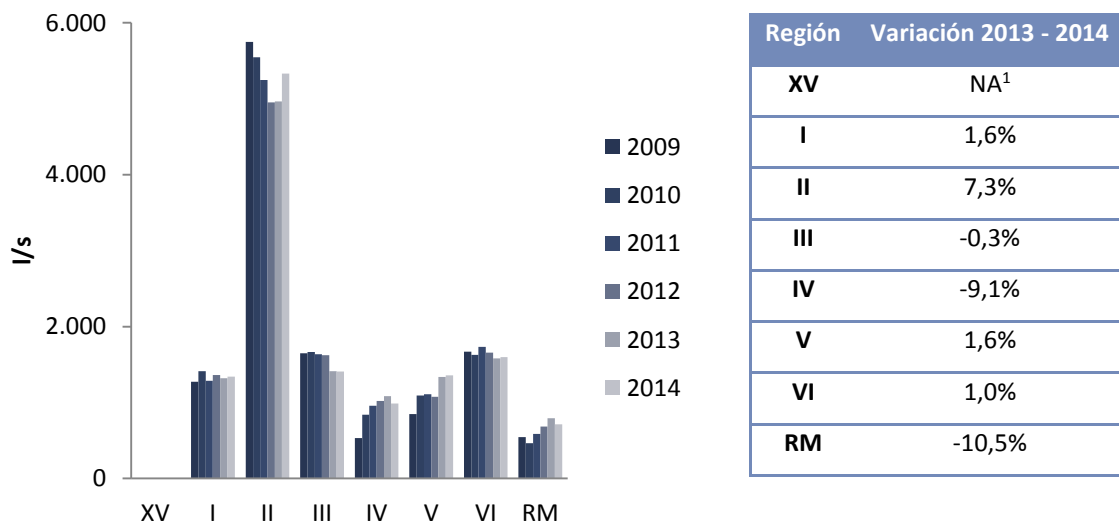


Figura 3-2 Distribución porcentual de extracción de agua fresca en la minería del cobre el año 2014.
 Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



Los datos muestran que la región que experimentó una mayor disminución porcentual en su consumo fue la Metropolitana, en la cual el descenso fue de un 10,5% respecto al año 2013, tal como se muestra en la Figura 3-3:

Figura 3-3 Variación del consumo de agua fresca (l/s) a nivel regional de la minería del cobre en el período 2009 - 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



3.2 Consumo según proceso minero

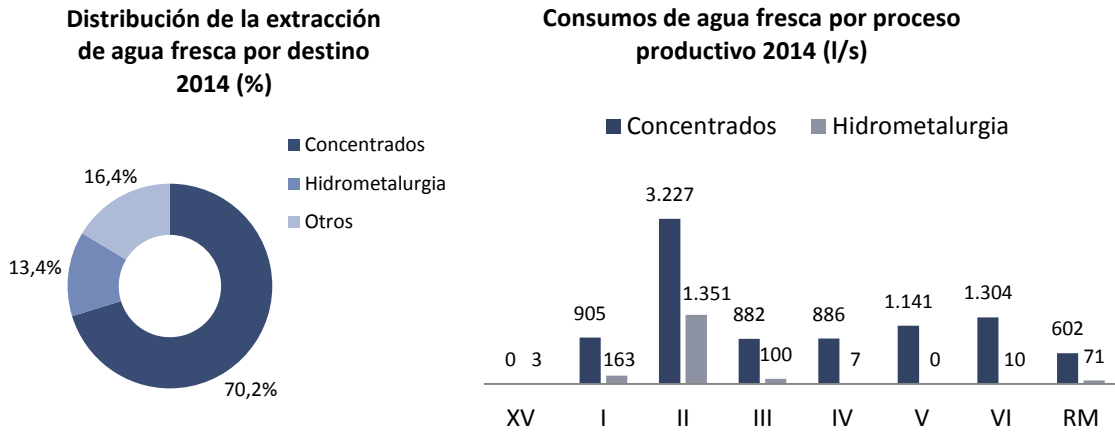
En el año 2014 la mayor fuente de consumo de agua fresca se dio en los procesos de concentración de minerales sulfurados. Éstos correspondieron a un 70% del total de agua fresca en el país, mientras que el procesamiento vía hidrometalurgia ocupó un 13% del total. En el ítem “Otros” se incluye agua utilizada en la operación de la mina,

¹ Región sin datos de consumo para el año 2013 considerando la entrada en operación en año 2014.



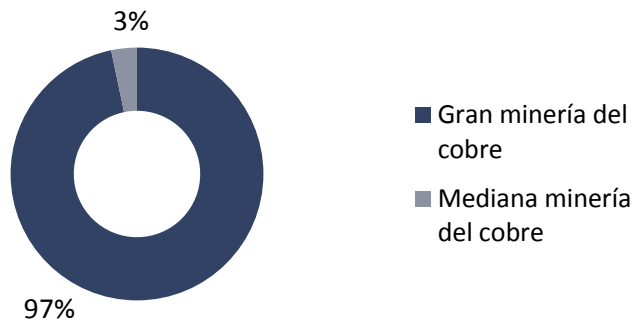
servicios, campamentos y agua potable. El total de agua fresca utilizada en los distintos procesos se indica en las Figura 3-4 y 3-5:

Figura 3-4 y 3-5 Uso de agua fresca en la minería del cobre por proceso. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



En términos de escala de producción, la gran minería del cobre es aquella que representa el mayor consumo de agua fresca según los datos obtenidos, alcanzado un 97% del total al año 2014:

Figura 3-6 Consumo de agua fresca según escala productiva en la minería del cobre el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



3.3 Fuentes de extracción

Tal como se indicó en el capítulo anterior, el agua fresca se descompone según su origen entre las aguas superficiales, subterráneas u obtenidas desde terceros tal como se indica en la Tabla 3-2.

Fuentes	Unidad	Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas	Aguas Adquiridas a Terceros
XV Región de Arica y Parinacota	l/s	0	0	4
I Región de Tarapacá	l/s	104	1.153	84
II Región de Antofagasta	l/s	1.926	2.921	484
III Región de Atacama	l/s	545	708	155
IV Región de Coquimbo	l/s	552	433	0
V Región de Valparaíso	l/s	819	525	15
VI Región de O'Higgins	l/s	1.423	175	0
RM Región Metropolitana	l/s	537	174	0
TOTAL NACIONAL	l/s	5.907	6.088	742

Tabla 3-2 Fuentes de extracción de agua fresca en el minería del cobre en el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.

Los valores anteriores indican que la mayor parte del agua fresca proviene de fuentes superficiales y subterráneas (46% y 48% respectivamente), siendo minoritarias aquella adquirida mediante terceros (6% del total nacional).

Cabe destacar que en los valores anteriores no se considera el agua proveniente de mar (desalada o sin desalar), la cual en el año 2014 llegó a las 2.423 l/s gracias a la entrada en operación de la planta concentradora de Sierra Gorda. El uso de agua de mar se revisará con más detalle en la siguiente sección.



4 Eficiencia en el consumo

En el capítulo se analizan las variables que se relacionan con la eficiencia en el consumo de agua fresca de una operación minera, destacando la variación de los coeficientes unitarios de consumo por cada proceso, los cambios en los porcentajes de reutilización de agua y el estado de las operaciones que utilizan agua de mar dentro de sus actividades.

4.1 Coeficientes unitarios

Para analizar la eficiencia en el consumo se utiliza como referencia los consumos unitarios por mineral procesado, que a diferencia del consumo por tonelada de cobre producido, evita el sesgo producto de las variaciones en la ley del mineral. Para el año 2014, el promedio nacional para las operaciones de concentración fue de 0,53 m³/t, lo que significó una disminución de un 6,9% en relación al año 2013. En el caso de las operaciones de hidrometalurgia, la disminución fue de un 13,7%, llegando a 0,08 m³/t como se muestra en Tabla 4-1:

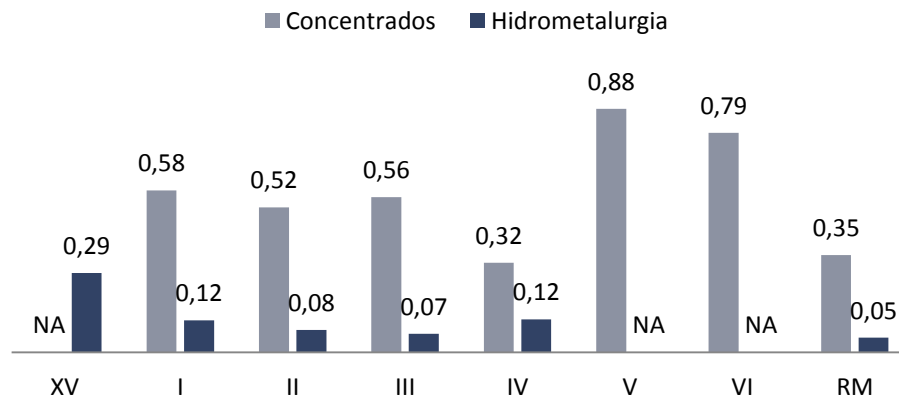
Proceso	Unidad	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación 2013 – 2014
Concentración	m ³ /t	0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53	-6,9%
Hidrometalurgia	m ³ /t	0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	-13,7%

Tabla 4-1 Tasas unitarias de consumo de agua fresca por proceso en el período 2009 - 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.

A nivel regional, la Figura 4-1 muestra que la región de Valparaíso presentó la mayor tasa de consumo unitario para el proceso de concentración, mientras que la mayor tasa para el proceso de hidrometalurgia se dio en la región de Arica y Parinacota:



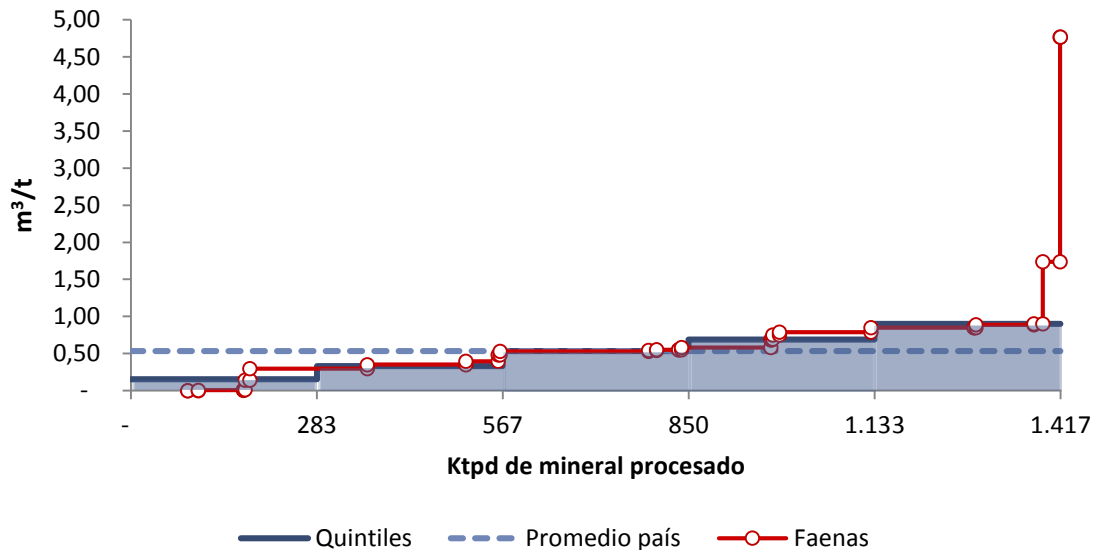
Figura 4-1 Consumos unitarios (m³/t) por proceso a nivel regional para el año 2014. Fuente: Cochilco en base a información de las empresas.



La información anterior muestra el mayor esfuerzo de las compañías mineras por disminuir su consumo de agua fresca en sus procesos en aquellas regiones con un mayor déficit de agua.

Una manera de generar un análisis de mayor detalle de eficiencia en relación a los coeficientes unitarios corresponde a reordenar las operaciones en quintiles según el total de mineral tratado por las plantas. La Figura 4-2 indica este indicador para las operaciones con plantas concentradoras de sulfuros de cobre:

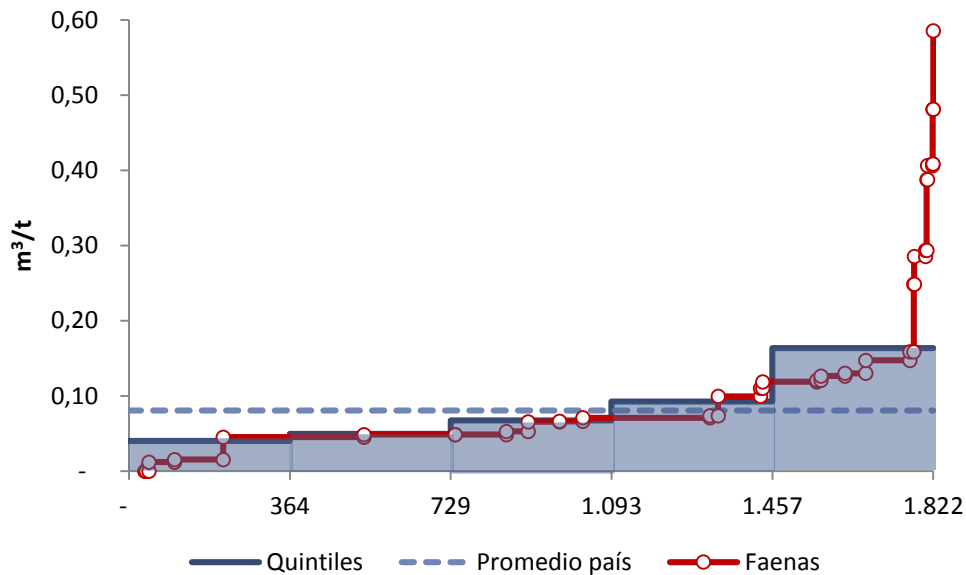
Figura 4-2 Consumo unitario por quintiles según mineral procesado en plantas concentradoras el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



El gráfico anterior permite discriminar a las empresas en los primeros quintiles, las cuales son mayoritariamente aquellas que utilizan agua de mar, lo que les permite reducir su consumo de agua fresca, seguidas por aquellas con mayores tasas de recirculación de agua en la concentradora. En la parte alta de la curva, se presentan principalmente plantas de mayor antigüedad, lo que afecta su rendimiento en lo relativo al indicador mostrado.

La Figura 4-3 muestra de manera análoga al caso anterior los indicadores para las plantas de hidrometalurgia:

Figura 4-3 Consumo unitario por quintiles según mineral procesado en plantas de hidrometalurgia el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



En este caso un primer elemento corresponde al sesgo entre la mediana y el promedio de los datos, lo cual se asocia a menor uniformidad en los datos, lo que se expresa en el mayor consumo de agua de las operaciones menos eficientes en relación al consumo de agua fresca. A diferencia del caso anterior, las empresas medianas presentan una tendencia ubicarse en la parte alta de la curva, lo que indica la importancia de la escala para lograr una mayor eficiencia en el consumo en este tipo de proceso. Un elemento característico de las operaciones que se ubican en la parte baja (de mayor eficiencia), además del uso de agua de mar, corresponde al hecho de estar especializadas en la producción de cátodos por vía la vía de la electro obtención, dejando a las operaciones mixtas que poseen ambos procesos metalúrgicos en la zona intermedia del gráfico.



4.2 Recirculación de agua

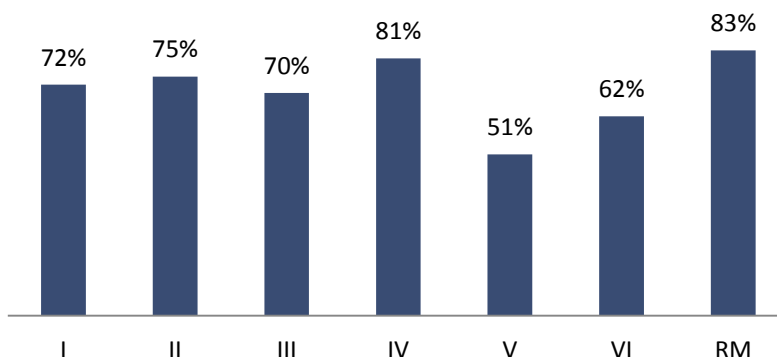
Otro indicador para graficar la eficiencia en el uso de agua de las operaciones mineras corresponde al porcentaje de agua recirculado por la operación en relación al consumo total, lo que indica el esfuerzo de las empresas por aprovechar el recurso. El año 2014 el total de agua recirculada en las faenas llegó a 74%, aumentando un 1,2% en relación al año anterior. Lo anterior se detalla en la Tabla 4-2:

	Unidad	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación 2013 – 2014
Agua recirculada	l/s	ND	ND	25.367	34.291	32.138	31.708	-1.3%
Recirculación	%	ND	ND	68,7%	74,0%	73,0%	73,9%	1,2%

Tabla 4-2 Agua recirculada en la minería del cobre entre los años 2009 - 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.

A nivel regional, se destaca que las regiones de Valparaíso y O’Higgins presentan las menores tasas de recirculación (según se indica en la Figura 4-4) Figura 4-4 Tasa de recirculación total faena a nivel regional para el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas., lo cual está relacionado al mayor consumo de agua fresca mostrado a través de los consumos unitarios:

Figura 4-4 Tasa de recirculación total faena a nivel regional para el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.

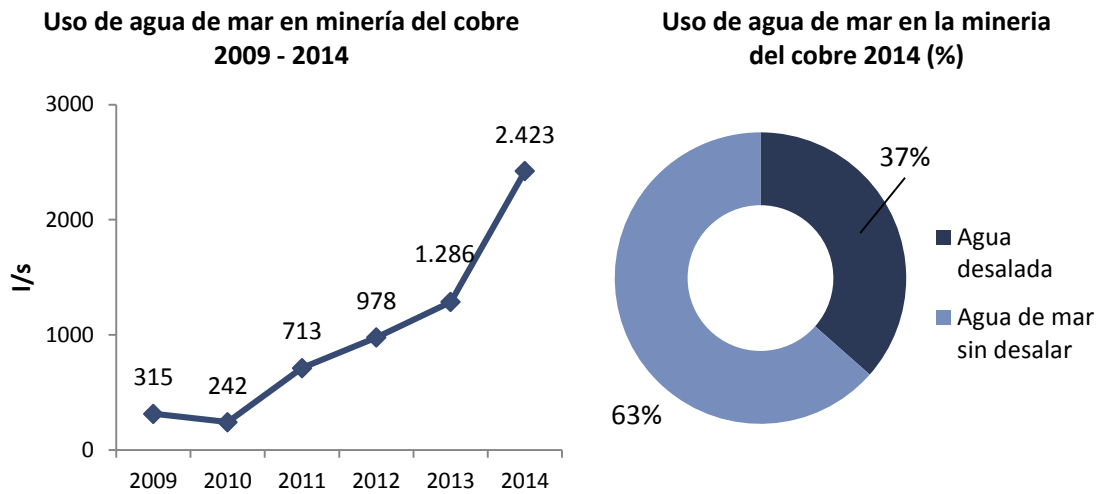


4.3 Operaciones con agua de mar

Otro elemento que muestra el cambio en las decisiones de operación corresponde a la incorporación de agua de mar en los procesos productivos. Tal como se mencionó en el capítulo anterior, la extracción de agua proveniente del mar alcanzó los 2.423 l/s el año 2014, siendo mayoritariamente utilizada directamente sin desalar:

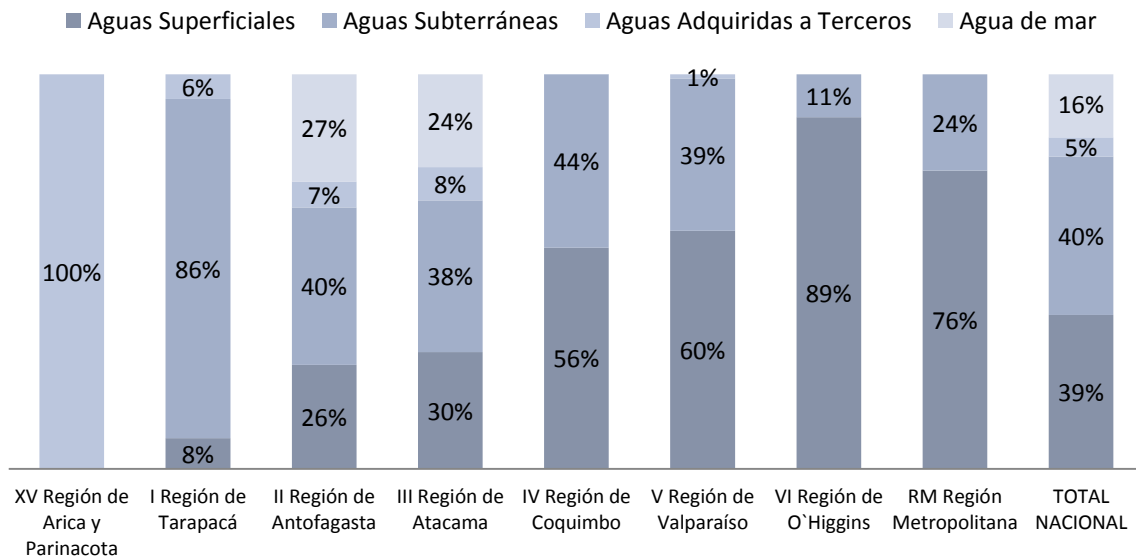


Figura 4-5 y 4-6 Uso de agua de mar en la minería del cobre. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



Al incluir el agua de mar con las fuentes de agua fresca se llega a que un 16% del total de agua extraída a nivel nacional proviene de esta fuente, la cual se concentra en las regiones de Antofagasta y Atacama tal como muestra la Figura 4-7:

Figura 4-7 Fuente de agua en la minería del cobre a nivel regional para el año 2014. Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.



Si bien se tiene que el uso de agua de mar desalada y sin desalar aumenta en una tasa considerable con respecto al 2013 (88,3% en promedio), es en el uso directo en la cual proviene un consumo más pronunciado lo cual se explica con la entrada en operación de Sierra Gorda:



	Unidad	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Variación 2013 – 2014
Agua desalada	l/s	180	132	223	369	581	885	52,4%
Agua de mar directa	l/s	136	111	490	609	706	1.538	117,9%
Total	l/s	316	243	713	978	1.287	2.423	88,3%

Tabla 4-3 Uso de agua de mar salada y sin desalar en la minería del cobre en el período 2009 - 2014.
 Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas.

Dada la relevancia que tiene y tendrá el uso de agua de mar en la industria minera del cobre, se indica a continuación el catastro de las plantas desaladoras y con uso directo de agua de mar (sin desalar) presentes en el país, ya sea aquellas que están en operación o en distintos grados de avance según la información pública indicada por las empresas:

Año inicio	Estado	Compañía	Nombre	Región	Capacidad planta desaladora (l/s)	Capacidad agua de mar directa (l/s)
-	Operando	Minera Pampa Camarones	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	-	12,5
-	Operando	Minera Escondida	Planta Coloso	Antofagasta	525	-
-	Operando	Antofagasta Minerals	Planta Michilla	Antofagasta	75	23
-	Operando	Antofagasta Minerals	Esperanza	Antofagasta	50	780 – 1.500
-	Operando	SLM Las Cenizas	Las Cenizas Tal – Tal	Antofagasta	9,3	12
-	Operando	Compañía Minera Tocopilla	Mantos de la luna	Antofagasta	-	78
-	Operando	KGHM International	Sierra Gorda	Antofagasta	63	1.315
-	Operando	Lundin Mining	Candelaria	Atacama	300	-
-	Operando	Anglo American Norte	Mantoverde	Atacama	120	-
2015	En ejecución	Antofagasta Minerals	Antucoya (planta Esperanza)	Antofagasta	20	280
2016	Factibilidad	Antofagasta Minerals	Encuentro (planta Esperanza)	Antofagasta	20	115



2017	En ejecución	Minera Escondida	Ampliación Planta Coloso	Antofagasta	2.500	-
2018	Factibilidad	Minera Sierra Norte	Diego de Almagro	Atacama	-	315
2018	Factibilidad	Minera Santo Domingo	Santo Domingo	Atacama	260 – 290	355
2019	Factibilidad	CODELCO	Radomiro Tomic	Antofagasta	1.630	-
2022	Factibilidad	Teck	Relincho	Atacama	700	-

Tabla 4-4 Catastro de operación con uso de agua de mar en la minería del cobre. Fuente: COCHILCO en base a información pública.

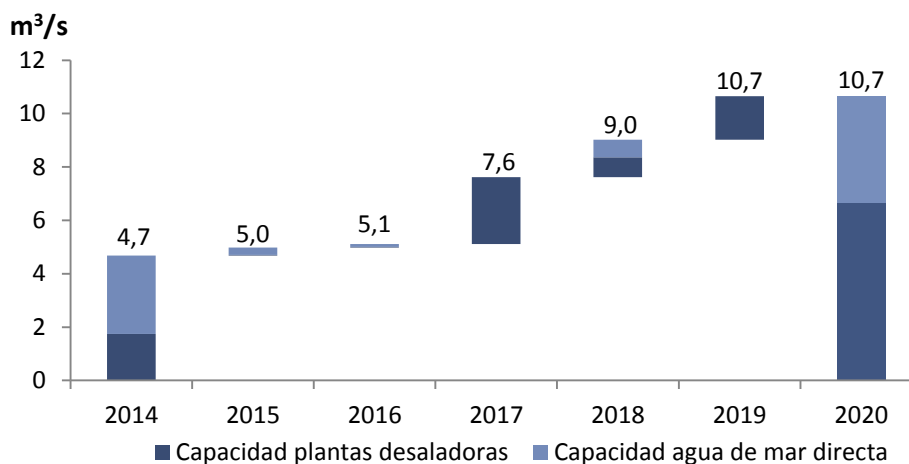
De manera anexa, se indican las operaciones asociadas a mineral de hierro con presencia de agua de mar:

Año inicio	Estado	Compañía	Nombre	Región	Capacidad planta desaladora (l/s)	Capacidad agua de mar directa (l/s)
-	Operando	CAP	Cerro Negro Norte	Atacama	200 – 600	-
2018	Factibilidad	Andes Iron	Dominga	Coquimbo	450	-

Tabla 4-5 Operaciones con uso de agua de mar en la minería del hierro. Fuente: COCHILCO en base a información pública.

Considerando la información anterior, la Figura 4-8 muestra la evolución de la capacidad máxima de impulsión de agua, tanto desalada como directa. En este caso, la capacidad máxima instalada al 2020 aumentaría en 2,3 veces con respecto al 2014, pasando a ser el agua desalada mayoritaria respecto al uso de agua de mar directa. En este caso, la capacidad máxima de plantas desaladoras pasaría de un 37% el 2014 a un 62% el 2020:

Figura 4-8 Capacidad máxima de impulsión de agua de mar directa y desalada para el sector minero. Fuente: COCHILCO en base a información pública.



5 Comentarios finales

El consumo de agua corresponde a un indicador estratégico en torno a la gestión de los recursos de la industria minera, principalmente en el contexto de estrechez hídrica actual que enfrenta el país.

En términos totales, el consumo de agua fresca de la industria minera del cobre presentó un aumento de 1,9% respecto al año anterior, lo cual muestra un grado de eficiencia de consumo relevante al considerar que el aumento del mineral procesado creció un 9,4% con respecto al 2013.

A nivel regional, el consumo de agua fresca es liderado por Antofagasta con un 42%, destacando además la disminución del consumo total en las regiones de Coquimbo y Metropolitana en un 9,1% y 10,5% respectivamente.

En lo que respecta a los consumos según destino en las operaciones, el uso de agua fresca en plantas concentradoras concentra el 70% del total, lo cual lidera ampliamente en relación a los procesos hidrometalúrgicos u otros como riego de caminos, agua potable o servicios.

Al analizar los elementos en los cuales recae la eficiencia en el consumo de agua fresca en la minería, primeramente se destaca la disminución en los consumos unitarios con respecto al 2013 para los procesos de concentración e hidrometalurgia en 6,9% y 13,7% respectivamente. Lo anterior se agrega al hecho de presentar un aumento en el porcentaje de agua recirculada en las operaciones en un 1,2% respecto al año anterior, lo cual da cuenta del esfuerzo por las distintas faenas por optimizar sus procesos y racionalizar el uso de los recursos estratégicos.

Finalmente, un elemento que ha sido clave para la minería del cobre corresponde al uso de agua de mar, tanto desalada como sin desalar. A nivel nacional, esta fuente representó un 16% del total de agua fresca, aumentando un 88,3% en relación al año 2013. Este aumento se explica principalmente por la entrada en operación de nuevos proyectos que utilizan agua de mar, lo que además permite disminuir las tasas de consumo unitarias de agua fresca y asegurar el abastecimiento para el procesamiento del mineral. Lo anterior explica la necesidad de contar con proyectos de abastecimiento de agua de mar individuales, los cuales se espera que se concreten en los próximos 10 años.



6 Anexos

6.1 Glosario

En este anexo se indican los distintos términos utilizados a lo largo del informe. En particular aquellos asociados a la extracción de agua, el procesamiento del mineral y recirculación de aguas.

6.1.1 Extracción de agua

Agua fresca: Se entiende por agua fresca aquellas extracciones provenientes de aguas superficiales como aguas lluvias, escorrentías, embalses superficiales, lagos, 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 perjudiquen 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. En términos generales, corresponde a una 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.

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 y la existencia de una concesión minera.

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.

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

- 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) o destilación por energía solar, entre otros.

4. Agua adquirida a terceros

Contrato con terceros: Compra de agua directamente a terceros sin que involucre traspasos de sus derechos respectivos.

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.

6.1.2 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 sus operaciones unitarias y 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 y 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

- Chancado: 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 a la etapa de molienda 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 chancado 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 reactivos que fomentan la separación del mineral del material estéril en base a su hidrofobicidad.
- 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.



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): El 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 ripios 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 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.

Esta 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.

6.1.3 Reutilización

- **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.

$$\text{Recirculación Total} = \frac{\text{Agua Total (m}^3\text{)} - \text{Agua Fresca (m}^3\text{)} - \text{Agua de mar (m}^3\text{)}}{\text{Agua Total (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Recirculación Agua Fresca} = \frac{\text{Agua Total (m}^3\text{)} - \text{Agua Fresca (m}^3\text{)}}{\text{Agua Total (m}^3\text{)}}$$

- 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.

6.2 Encuesta recursos hídricos

En este punto se incluye la encuesta enviada a las distintas faenas productoras de cobre del país, en la cual se detallan los distintos campos informados. Cabe destacar que el contenido de esta encuesta fue trabajada junto a responsables del Consejo Minero, con el fin de unificar y estandarizar criterios para la recepción y análisis de la información recopilada:



Tabla 6-1 Encuesta de recursos hídricos enviada a operaciones de cobre. Fuente: COCHILCO.

1. Fuentes de agua	unidades	2014
<i>Aguas Iluvias</i>	I/s	
<i>Escorrentías</i>	I/s	
<i>Embalses Artificiales</i>	I/s	
<i>Lagos</i>	I/s	
<i>Ríos (Cuenca)</i>	I/s	
<i>Aguas de contacto (aguas del minero)</i>	I/s	
<i>Acuíferos</i>	I/s	
<i>Agua adquirida a terceros</i>	I/s	
<i>Agua desalada</i>	I/s	
<i>Agua de mar sin desalar</i>	I/s	
<i>Salares</i>	I/s	
2. Usos de Agua		
<i>Uso de Agua Total</i>	I/s	
<i>Make up Total</i>	I/s	
<i>Agua recirculada</i>	I/s	
<i>Minería Cielo Abierto</i>	I/s	
<i>Minería Subterránea</i>	I/s	
<i>Supresión de polvo en caminos</i>	I/s	
<i>Uso Total de agua en la planta concentradora</i>	I/s	
<i>Uso de agua fresca en la planta concentradora</i>	I/s	
<i>Uso de agua de mar en la concentradora</i>	I/s	
<i>Uso de agua en transporte de concentrados</i>	I/s	
<i>Uso de agua en transporte de relaves</i>	I/s	
<i>Recirculación desde espesadores</i>	I/s	
<i>Recirculación desde relaves</i>	I/s	
<i>Tasa de recirculación en la concentradora (%)</i>	%	
2.3.1 Uso de agua fresca		
<i>Uso de agua fresca en aglomeración</i>	I/s	
<i>Uso de agua fresca en lixiviación</i>	I/s	
<i>Uso de agua fresca en extracción por solventes</i>	I/s	
<i>Uso de agua fresca en electroobtención</i>	I/s	
2.3.2 Uso de Agua de Mar		
<i>Uso de agua de mar en aglomeración</i>	I/s	
<i>Uso de agua de mar el lixiviación</i>	I/s	
<i>Uso de agua de mar en extracción por solventes</i>	I/s	
<i>Uso de agua de mar en electroobtención</i>	I/s	
<i>Uso de agua fresca en fundición</i>	I/s	
<i>Uso de agua en refinería</i>	I/s	
<i>Uso de agua en servicios auxiliares</i>	I/s	
<i>Agua Potable</i>	I/s	
<i>Cesión o venta de agua a terceros</i>	I/s	



Para el presente año, las siguientes empresas entregaron la información previamente indicada:

Tabla 6-2 Operaciones de cobre representativas de la producción chilena el año 2014. Fuente: COCHILCO.

Operaciones		
Andacollo	Escondida	Pampa Camarones
Andina	Esperanza	Planta Delta
Atacama Kozan	Franke	Planta Matta
Candelaria	Gaby	Planta Salado
Caserones	Haldeman Sagasca	Planta Vallenar
Cenizas Cabildo	Lomas Bayas	Pucobre
Cenizas Taltal	Los Bronces	Quebrada Blanca
Cerro Colorado	Los Pelambres	Radomiro Tomic
Chuquicamata	Mantos Blancos	Salvador
Collahuasi	Mantoverde	Sierra Gorda
El Abra	Michilla	Spence
El Tesoro	Ministro Hales	Valle Central
El Teniente	Ojos del Salado	Zaldívar



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

Camila Montes Prunés

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Emilio Castillo Dintrans

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Abril/ 2015

