



# Consumo de agua en la minería del cobre al 2016

---

DEPP 11/2017

Registro Propiedad Intelectual

N° 279.236

## Resumen Ejecutivo

En relación al uso del agua, la industria minera se enfrenta a tres desafíos estratégicos de largo plazo. En primer lugar asegurar suficiente agua para satisfacer el aumento de la producción, en segundo lugar reducir el consumo de agua, además del consumo de energía y las emisiones debido a las presiones sociales, ambientales y económicas, y finalmente la comprensión de los vínculos entre el agua, energía y emisiones en una mirada integral, para que una mejora en un área no cree un mayor efecto adverso en otra. Cabe mencionar que dicha mirada integral en el ámbito de las nuevas fuentes de agua, reducción de consumos unitarios y relación con la comunidad pueden transformar estos riesgos en una oportunidad para el desarrollo de la actividad.

A nivel nacional el consumo de agua por parte del sector minero alcanza el 3% según información entregada por la DGA. El consumo total de agua de origen continental de la industria mineras del cobre en 2016 fue de 13,61 m<sup>3</sup>/seg, por su parte el agua de mar fue de 2,45 m<sup>3</sup>/seg y el agua recirculada fue de 43,25 m<sup>3</sup>/seg, lo que en total suma 59,31 m<sup>3</sup>/seg de agua para la minería del cobre.

Si bien la minería no es quien más agua utiliza de forma consuntiva, esta actividad está ubicada principalmente en la zona norte y centro, donde se presenta la menor disponibilidad del recurso y es en donde se concentra la mayor parte de la actividad minera de Chile. A nivel regional el consumo es liderado por Antofagasta, región que produce más del 50% del cobre en Chile, seguido por la región de O'Higgins.

En general, los minerales con mayor nivel de leyes requieren menos agua para el procesamiento y viceversa, dado la cantidad de mineral que se debe procesar para producir una misma cantidad de metal. Con el agotamiento de los recursos, la explotación de minerales de baja ley va en aumento, lo que genera un aumento en la demanda de agua. El enfoque debe ir en buscar alternativas de eficiencia o nuevas fuentes de abastecimiento de manera que el consumo de agua continental no aumente, y mejor aún, disminuya.

Para el caso de los minerales lixiviables el aumento en el coeficiente unitario a nivel nacional se debe principalmente al aumento del mineral tratado en las plantas de menor tamaño, ya sea por baja de leyes o mayor extracción, mientras que los consumo de agua aumentaron en mayor medida, provocando un aumento en el consumo unitario. En el caso de la concentración, sucede lo contrario, puesto que la tendencia en los últimos años es a la baja, principalmente porque en muchas operaciones aumentó la cantidad de mineral procesado, principalmente por disminución en las leyes, con un aumento menor en la cantidad de agua continental utilizada, con lo cual el consumo unitario disminuye.

Con respecto a las tasas de recirculación se observa que a nivel nacional la tasa es de un 74,3%. De acuerdo a los datos entregados por las empresas, durante el 2016 la región con mayor porcentaje de recirculación de agua en la faena fue la región de Coquimbo con un 80%,

Finalmente el uso de agua de mar en la minería del cobre ha tomado un rol cada vez más importante, el sector con mayor aprovechamiento de agua de mar es el minero, el cual ha sido pionero en el uso de este recurso, impulsando además una creciente mejora en las tecnologías de impulsión del recurso hídrico.

Al 2016 el agua de mar en la minería del cobre alcanzó los 2,45 m<sup>3</sup>/seg, un 15% del agua utilizada en minería, de ellos 1,61 m<sup>3</sup>/seg corresponden a agua de mar utilizada directamente en los procesos con un alto contenido de sal, mientras que 0,83 m<sup>3</sup>/seg es de agua previamente desalinizada. En cuanto al desarrollo a futuro, se prevén al menos 12 proyectos con uso directo de agua de mar y/o desalinización, los que también se ubican en la zona norte del país, manteniendo una mayor participación la Región de Antofagasta, seguida de la Región de Atacama, con un nuevo potencial en las regiones de Tarapacá y Coquimbo



## Contenido

<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>I</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 1: Consumo de agua en la industria minera del cobre.....</b>	<b>4</b>
1.1          Procesos productivos .....	6
1.2          Fuentes de extracción .....	8
1.3          Consumo de agua en la minería del cobre año 2016.....	9
1.3.1 <i>Consumo de agua total .....</i>	<i>9</i>
1.3.2 <i>Consumo de aguas continentales.....</i>	<i>12</i>
1.3.3 <i>Consumo de agua según fuente de abastecimiento .....</i>	<i>13</i>
1.3.4 <i>Consumo de agua por proceso minero.....</i>	<i>15</i>
1.3.5 <i>Consumo de agua por región .....</i>	<i>17</i>
<b>Capítulo 2: Gestión del agua.....</b>	<b>22</b>
2.1          Intensidad de uso .....	22
2.1.1 <i>Coeficientes unitarios por proceso .....</i>	<i>22</i>
2.1.2 <i>Coeficientes unitarios por región.....</i>	<i>23</i>
2.1.3 <i>Coeficientes unitarios según tamaño de minería .....</i>	<i>24</i>
2.1.4 <i>Quintiles de distribución según mineral procesado.....</i>	<i>26</i>
2.2          Recirculación .....	28
2.2.1 <i>Recirculación en operaciones .....</i>	<i>28</i>
2.2.2 <i>Recirculación en planta concentradora.....</i>	<i>29</i>
<b>Capítulo 3: Agua de Mar.....</b>	<b>31</b>
3.1          Tendencia en el uso del agua de mar.....	31
3.2          Operaciones y nuevos proyectos mineros en carpeta .....	33
<b>Capítulo 4: Comentarios finales.....</b>	<b>37</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>40</b>



## Índice de figuras

Figura 1: Distribución de los usos consuntivos del agua a nivel nacional .....	4
Figura 2: Ciclo del agua en operaciones mineras .....	5
Figura 3: Procesos mineros .....	6
Figura 4: Procesos a considerar en el informe .....	7
Figura 5: Fuentes de abastecimiento .....	8
Figura 6: Consumo de agua total en la industria minera del cobre 2012-2016 .....	10
Figura 7: Leyes promedio de minerales de óxidos y sulfuros a nivel nacional 2012-2016 .....	11
Figura 8: Mineral procesado según tipo de mineral (Millones de toneladas) .....	11
Figura 9: Consumo de aguas continentales en la minería del cobre 2012-2016 .....	12
Figura 10: Distribución porcentual de las aguas según fuente de abastecimiento 2016 .....	13
Figura 11: Tendencia en el consumo de aguas en la minería del cobre según fuente de origen 2012-2016	14
Figura 12: Distribución porcentual de las aguas según proceso minero 2016.....	15
Figura 13: Tendencia en el consumo de aguas continentales en la minería del cobre según proceso productivo 2012-2016.....	16
Figura 14: Tendencia en el consumo de aguas continentales en la minería del cobre a nivel regional 2012-2016 .....	18
Figura 15: Distribución porcentual del consumo de agua según fuente de abastecimiento en la minería del cobre a nivel regional 2016.....	19
Figura 16: Distribución porcentual del consumo de agua según proceso en la minería del cobre a nivel regional 2016 .....	20
Figura 17: Coeficientes unitarios según proceso minero 2012-2016.....	22
Figura 18: Coeficientes unitarios en la minería del cobre por región 2012-2016.....	24
Figura 19: Coeficientes unitarios en la minería del cobre por tamaño de minería 2012-2016 .....	25
Figura 20: Curva quintiles para mineral sulfuros 2016 .....	26
Figura 21: Curva quintiles para mineral óxidos 2016.....	27
Figura 22: Tendencia en tasa de recirculación en operaciones de la minería del cobre 2012-2015 .....	28
Figura 23: Tendencia en tasa de recirculación en concentradora de la minería del cobre 2012-2015 .....	29
Figura 24: Uso de agua de mar en la minería del cobre 2010-2016 (m <sup>3</sup> /seg).....	32

## Índice de tablas

Tabla 1: Principales fuentes de pérdidas de agua .....	17
Tabla 2: Catastro plantas desaladoras y Sistemas de impulsión de agua de mar (SIAM) al 2017 .....	34



## Introducción



## Introducción

Chile es reconocido como un país minero, y esta industria ha sido parte importante del desarrollo de nuestra nación. Para que lo siga siendo es necesario superar las limitaciones para que la minería prospere su aporte al país y continúe siendo motor del desarrollo.

El agua en la industria minera del cobre es considerado uno de sus insumos estratégicos dadas las crecientes restricciones que tiene su uso en un ambiente de menor disponibilidad; las operaciones suelen estar ubicados en zonas en las que la demanda industrial está compitiendo con el uso de agua doméstica o de otros sectores.

La industria minera se enfrenta a tres riesgos estratégicos a largo plazo en relación con el agua. En primer lugar asegurar suficiente agua para satisfacer el aumento de la producción, en segundo lugar reducir el consumo de agua, consumo de energía y las emisiones debido a las presiones sociales, ambientales y económicas, y finalmente la comprensión de los vínculos entre el agua, energía y emisiones, para que una mejora en un área no cree un mayor efecto adverso en otra.

Dada la importancia de este recurso en la producción minera en Chile, COCHILCO elabora anualmente el informe de consumo de agua en la minería del cobre, que recoge la información recopilada de las distintas faenas a través de la Encuesta de Producción, Energía y Recursos Hídricos.

Para la elaboración de una política pública se requiere de información clara, transparente y precisa. Cochilco levanta esta información gracias a la continua colaboración de las empresas mineras que año a año han informado su consumo de agua en cada proceso, lo que permite recabar información fundamental para realizar un análisis global. El alcance de este análisis comprende las empresas productoras de cobre entre las regiones centro norte del país, desde la XV Región de Arica y Parinacota, hasta la VI Región de O'Higgins, en donde se desarrolla la mayor actividad cuprífera.

Para el presente informe las operaciones catastradas corresponden al 99,3% de la producción chilena el cobre durante el 2016. De esta manera es necesario extrapolar el consumo de agua para la totalidad de la producción del país, de modo de poder comparar anualmente las variaciones en el consumo. Para ello se consideran los totales regionales indicados anualmente y el porcentaje de representatividad de las encuestas.

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.



# Capítulo 1:

## Consumo de agua en la industria minera del cobre



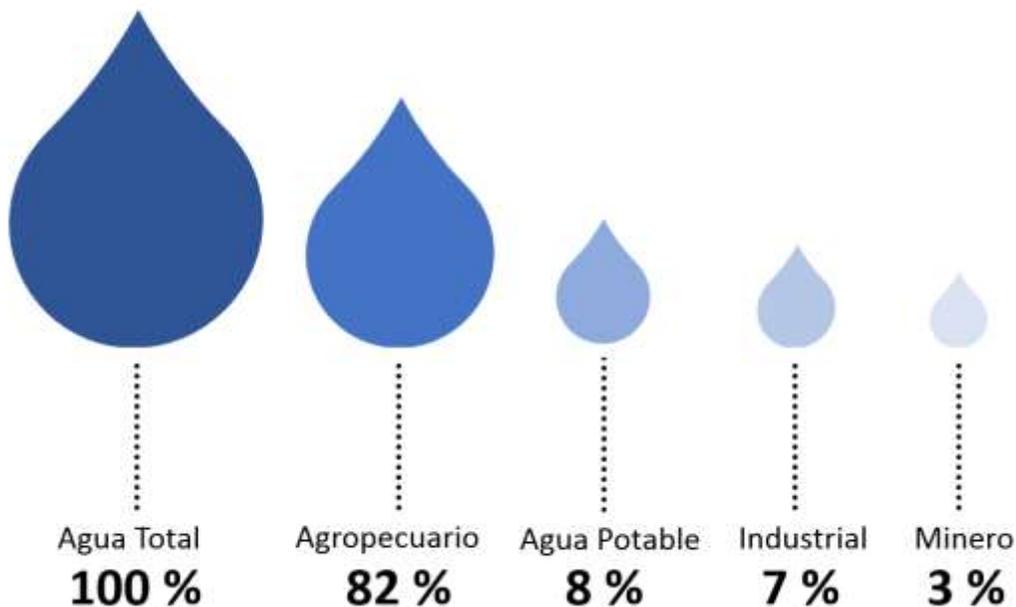
## Capítulo 1: Consumo de agua en la industria minera del cobre

La minería ha jugado un papel importante en el desarrollo de nuestro país y la elaboración de un diversos productos, ya sea para la construcción, electrodomésticos, tecnologías, etc. Todos estos productos no serían posibles sin el uso de agua en la minería.

En este informe se busca dar respuesta a interrogantes de porqué se necesita agua en el procesamiento de los minerales, determinar la cantidad de agua utilizada por la industria para la obtención de las 5.553 miles de toneladas producidas en 2016, el origen del agua utilizada en la minería del cobre, entre otras materias.

A nivel nacional el consumo de agua por parte del sector minero alcanza el 3% según información entregada por la DGA.

**Figura 1: Distribución de los usos consuntivos del agua a nivel nacional**

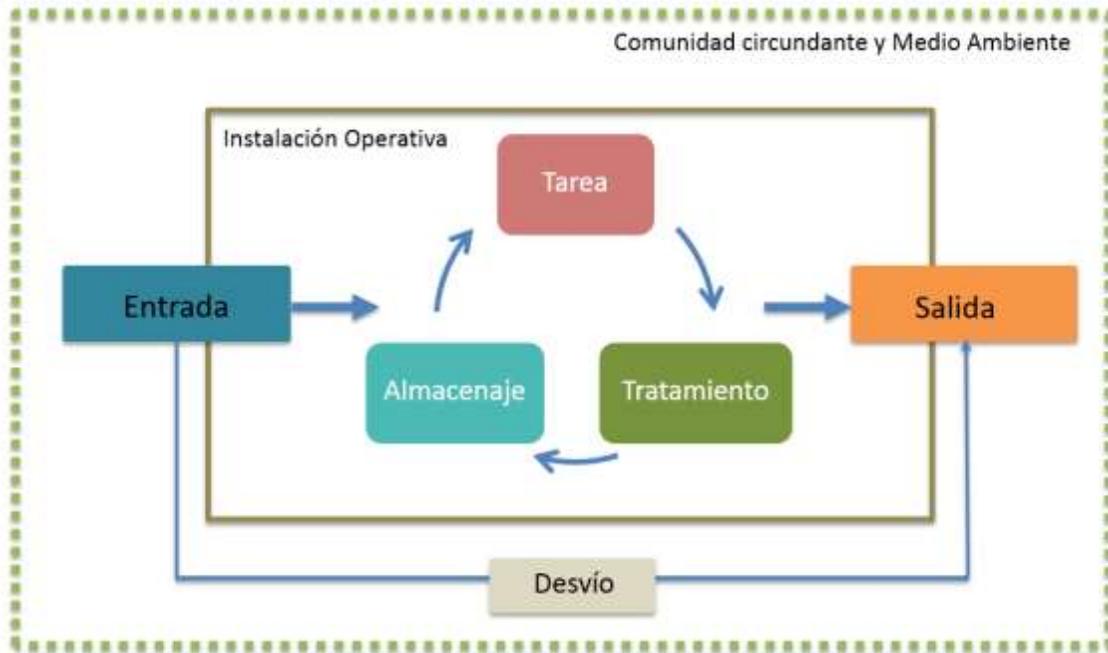


Fuente: Atlas del Agua, DGA 2016 (pág. 125)

Al igual que las demás industrias, las empresas mineras necesitan agua para hacer que la roca libere sus valiosos minerales. Para ello la minería utiliza el agua en una serie de actividades que incluyen el procesamiento de minerales y sus servicios anexos tales como la supresión de polvo en caminos, el transporte de minerales en pulpa, y necesidades de los trabajadores, entre otras.



Figura 2: Ciclo del agua en operaciones mineras



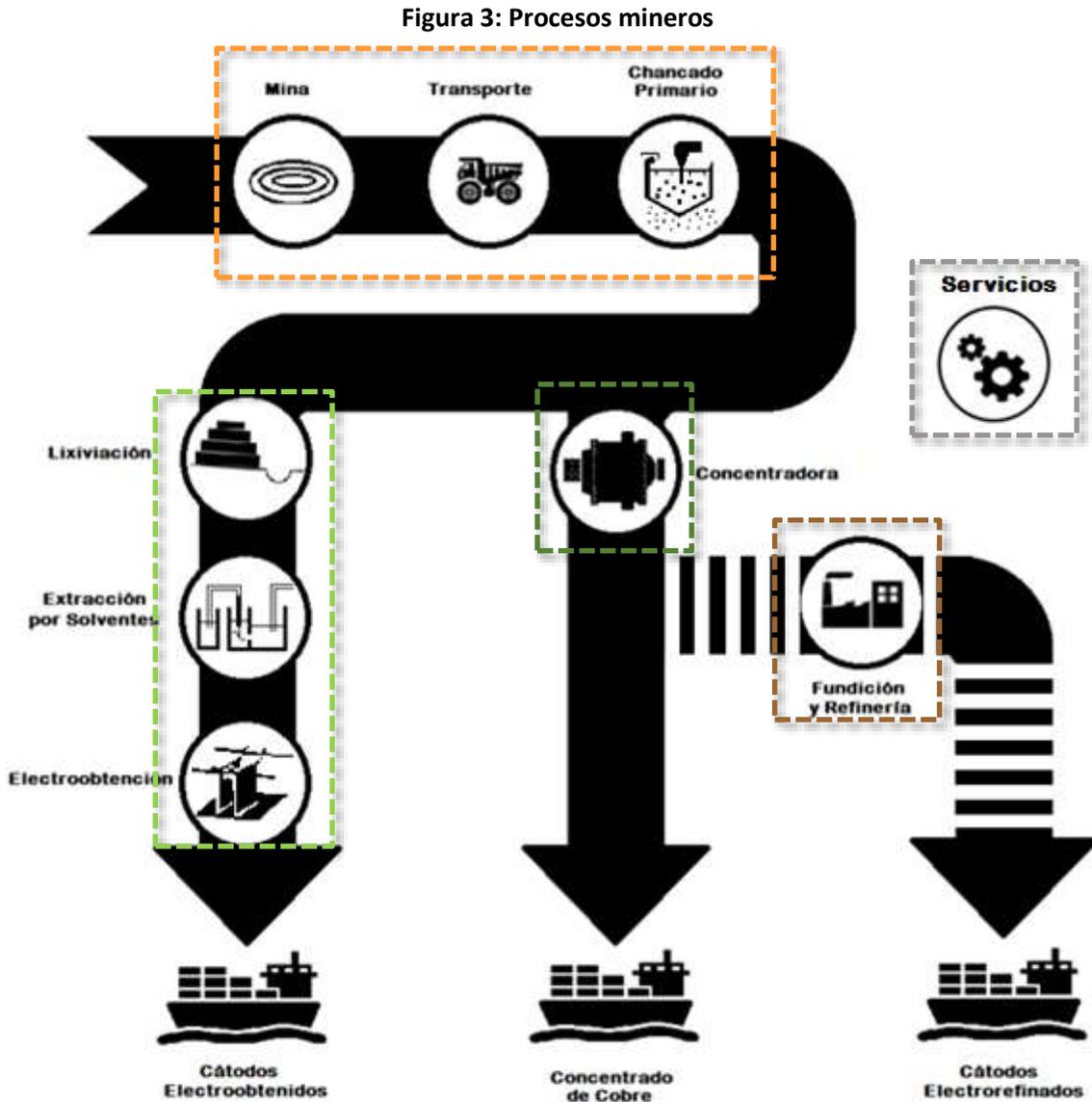
Fuente: WAF, Centre for Water in the minerals industry (CWIMI), Queensland University.

La utilización de agua en el proceso minero es descrita brevemente en la siguiente figura. La información se estructura considerando los distintos procesos involucrados en la producción de cobre en el país. Cada uno de estos puntos representa un centro de consumo de agua, unos más intensivos que otros, pero que a fin de cuentas requieren del recurso hídrico para realizar su tarea.



## 1.1 Procesos productivos

De manera general, se identifican 5 distintas áreas de consumo de agua de la industria minera del cobre; el área mina, el área planta concentradora, área planta hidrometalurgia, fundición y refinería y el área servicios.



Fuente: Cochilco



En el caso del área mina, este incluye la mina, ya sea a cielo abierto o subterránea y el transporte del material hasta el chancado primario. En esta área el agua es utilizada principalmente para la supresión de polvo en caminos, y en la extracción y bombeo desde labores subterráneas.

El área de planta concentradora comprende el procesamiento de minerales, el cual representa el mayor consumo de agua con respecto a los volúmenes totales. Esta área involucra la conminución del mineral, luego la flotación, clasificación y espesamiento. Según la distancia entre la concentradora y las instalaciones de filtrado y almacenaje, las aguas residuales pueden o no ser recirculadas al proceso. Una parte importante del agua que se utiliza en la flotación pasa a formar parte de los relaves, que se envían a la etapa de espesamiento para recuperar una parte del agua que contienen, incluye las plantas de molibdeno en operaciones que cuenten con este proceso.

Por su parte, el área planta hidrometalurgia considera los procesos de lixiviación en pilas, la extracción por solventes y la electro obtención para la producción de cátodos. En este proceso los principales consumos de agua resultan como consecuencia de la evaporación de las pilas de lixiviación donde se vierte una solución ácida, de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila disolviendo el cobre contenido en los minerales oxidados.

En cuarto lugar está la fundición y refinería. El concentrado seco se somete a un proceso de pirometalurgia para obtener placas gruesas, de forma de ánodos. Este es comercializado directamente o enviado al proceso de refinación la cual se lleva a cabo en las celdas electrolíticas en una solución de ácido sulfúrico. Se le aplica una corriente eléctrica, que hace que se disuelva el cobre del ánodo y se deposite en el cátodo inicial, lográndose cátodos de alta pureza.

Finalmente el área servicios, comprende aquellas actividades con volúmenes de consumo de agua poco significativos frente al total consumido en una operación minera. El principal uso del agua es para bebida, cocción, lavado, riego y baños en los campamentos, y otros consumos menores.

Para efectos de este informe se agruparan en cuatro grandes procesos; la concentración, la hidrometalurgia, el área fundición y refinería, y finalmente el ítem otros, que abarca el área mina y los servicios.

**Figura 4: Procesos a considerar en el informe**



Fuente: Cochilco

## 1.2 Fuentes de extracción

El análisis se centra en el consumo de aguas continentales en la minería, puesto que son aquellas fuentes que están sujetas a una insuficiencia y sobredemanda que exige a todos los usuarios realizar una correcta gestión del agua y disminuir su consumo en la mayor medida posible, por lo tanto su disponibilidad está limitada. A continuación se presenta una breve descripción de las fuentes de abastecimiento de agua para la industria minera.

Figura 5: Fuentes de abastecimiento



Fuente: Cochilco



### 1.3 Consumo de agua en la minería del cobre año 2016

Como hemos mencionado anteriormente la disponibilidad de agua es una limitante para el desarrollo de la industria y como tal es preciso contar con información, de manera de poder tomar decisiones, comparar, y gestionar el recurso de manera sustentable. En esta sección se presenta el total de agua que es consumida por parte de la minería del cobre durante el año 2016, luego se examina el detalle del agua continental, para posteriormente considerar los datos según fuente de abastecimiento, según proceso y finalmente se realiza un análisis de consumo por región.

#### 1.3.1 Consumo de agua total

A grandes rasgos tenemos tres fuentes de agua; el agua continental, el agua de origen oceánico y las aguas recirculadas del proceso minero. La primera considera todos los cuerpos de agua permanentes que se encuentran en el interior, alejados de las zonas costeras. Algunas aguas continentales son ríos, lagos, llanuras de inundación, reservas, humedales y sistemas salinos de interior. Mientras que las aguas de origen oceánico, provienen del mar y tienen un alto contenido salobre. Por su parte las aguas recirculadas corresponden a todos aquellos flujos que son reinyectados al sistema, estos pueden ser previamente tratados o no.

El agua total es aquella necesaria para mantener a régimen el proceso productivo. Corresponde al total de entrada de aguas la cual puede provenir de distintas fuentes.

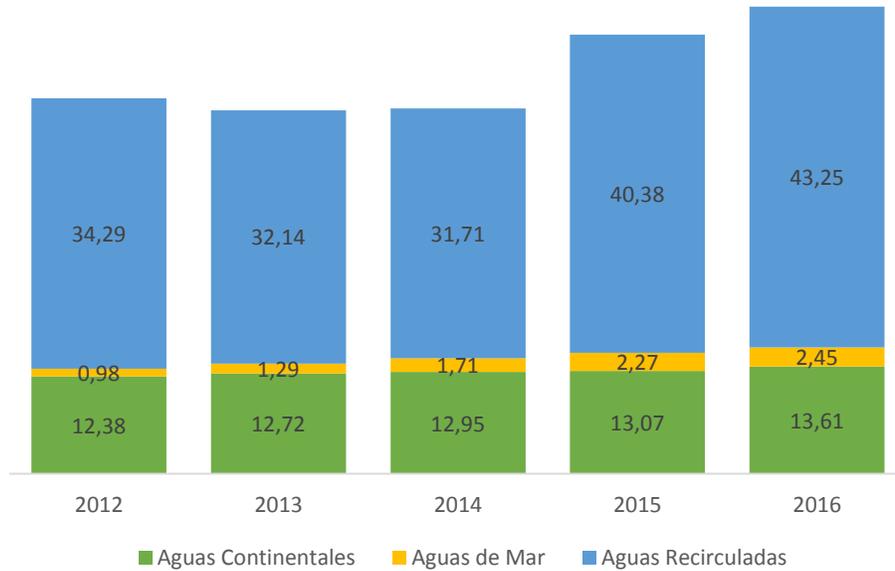
Al analizar el año 2016, vemos que el agua de origen continental alcanzó los 13,61 m<sup>3</sup>/seg, por su parte el agua de mar fue de 2,45 m<sup>3</sup>/seg y el agua recirculada fue de 43,25 m<sup>3</sup>/seg, lo que en total suma 59,31 m<sup>3</sup>/seg de agua para la minería.

En la figura 6, al analizar la tendencia de los consumos globales en la minería, podemos ver que la cantidad de agua recirculada ha visto un aumento constante en los últimos años, del mismo modo el agua de mar mantiene una tendencia al alza.

La recirculación entre 2015 y 2016 presenta un aumento principalmente gracias a algunas operaciones que aumentaron su eficiencia en la gestión del recurso hídrico. En el caso de Codelco utiliza principalmente aguas provenientes de fuentes superficiales o subterráneas en todas sus divisiones, teniendo mayor relevancia las aguas utilizadas en zona de clima desértico donde operan cinco de sus divisiones, razón por lo cual se centran los esfuerzos en mantener altos niveles de recirculación para las divisiones del Distrito Norte y División Salvador. Por su parte de acuerdo al reporte de sustentabilidad de BHP Billiton, las tres operaciones desarrollan proyectos de optimización del consumo de agua, entre estos proyectos destaca la implementación de cubiertas de y thermofilm en las pilas de lixiviación en Spence. En el caso de Caserones para el 2016 se lograron tasas de recirculación mayores al 85% y Quebrada Blanca aumentó significativamente la cantidad de agua recirculada.



**Figura 6: Consumo de agua total en la industria minera del cobre 2012-2016**



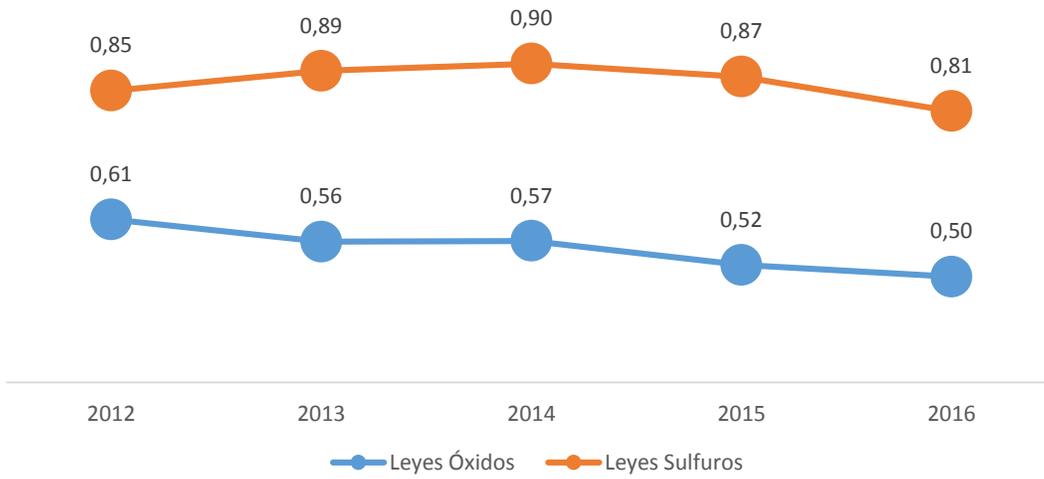
Fuente: Cochilco

En general, los minerales con mayor nivel de leyes requieren menos agua para el procesamiento y viceversa, dado la cantidad de mineral que se debe procesar para producir una misma cantidad de metal. Con el agotamiento de los recursos, la explotación de minerales de baja ley va en aumento, lo que genera un aumento en la demanda de agua. El enfoque debe ir en buscar alternativas de eficiencia o nuevas fuentes de abastecimiento de manera que el consumo de agua continental no aumente, y mejor aún, disminuya.

La figura 7 muestra la evolución de las leyes de los minerales, donde se observa una caída en los últimos años, lo que hace necesario el procesamiento de una mayor cantidad de mineral para obtener la misma cantidad de cobre fino. Sin embargo, el uso de agua continental se ha mantenido estable en los últimos años.



**Figura 7: Leyes promedio de minerales de óxidos y sulfuros a nivel nacional 2012-2016**



Fuente: Cochilco

En la figura 8 se observa un considerable aumento en la cantidad procesada de sulfuros de cobre, cercana al 7% respecto al año anterior. Los minerales sulfurados se tratan típicamente mediante el proceso de concentración, el cual es el más intensivo en el uso de agua, como se verá en el capítulo 2, gestión del agua, es por ello que aumenta el consumo de agua a nivel nacional.

**Figura 8: Mineral procesado según tipo de mineral (Millones de toneladas)**



Fuente: Cochilco

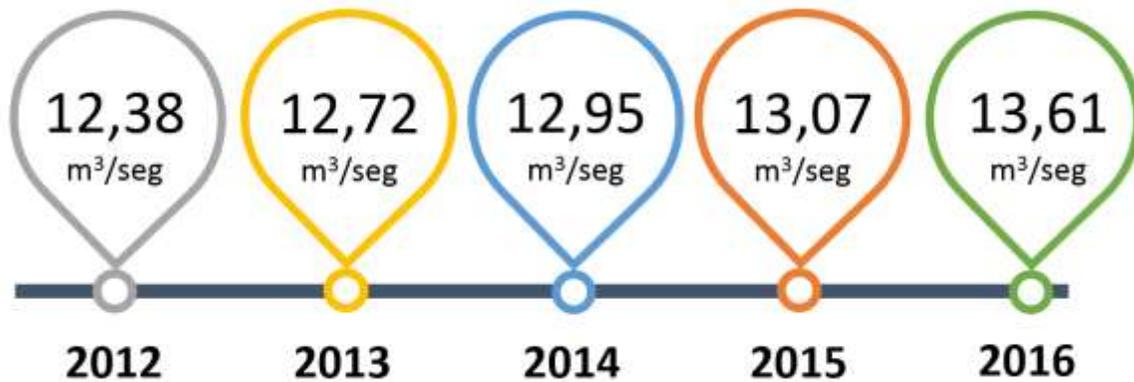


La disminución progresiva en las leyes de los minerales conlleva un procesamiento de mayor cantidad de mineral, lo que significa un mayor uso de agua para obtener la misma cantidad de cobre. Es por esto que es importante destacar, que a pesar del aumento en la cantidad de mineral procesado el uso de agua continental se ha mantenido dentro de un rango estable en los últimos años, ya que se ha aumentado la eficiencia en el uso del recurso hídrico.

### 1.3.2 Consumo de aguas continentales

Al año 2016 la cantidad de agua continental utilizada por la minería del cobre alcanzó los 13,61 m<sup>3</sup>/seg, un 4,2% mayor que el año anterior.

**Figura 9: Consumo de aguas continentales en la minería del cobre 2012-2016**



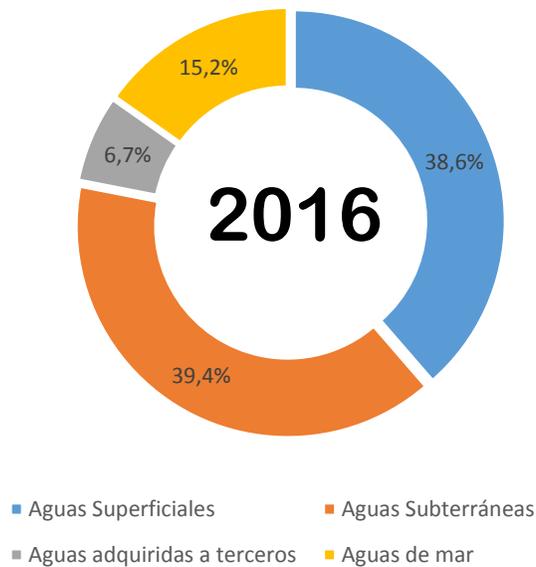
Fuente: Cochilco



### 1.3.3 Consumo de agua según fuente de abastecimiento

Conocer las variaciones en las fuentes de origen del agua para la minería del cobre resulta elemental para gestionar los recursos hídricos.

**Figura 10: Distribución porcentual de las aguas según fuente de abastecimiento 2016**



Fuente: Cochilco

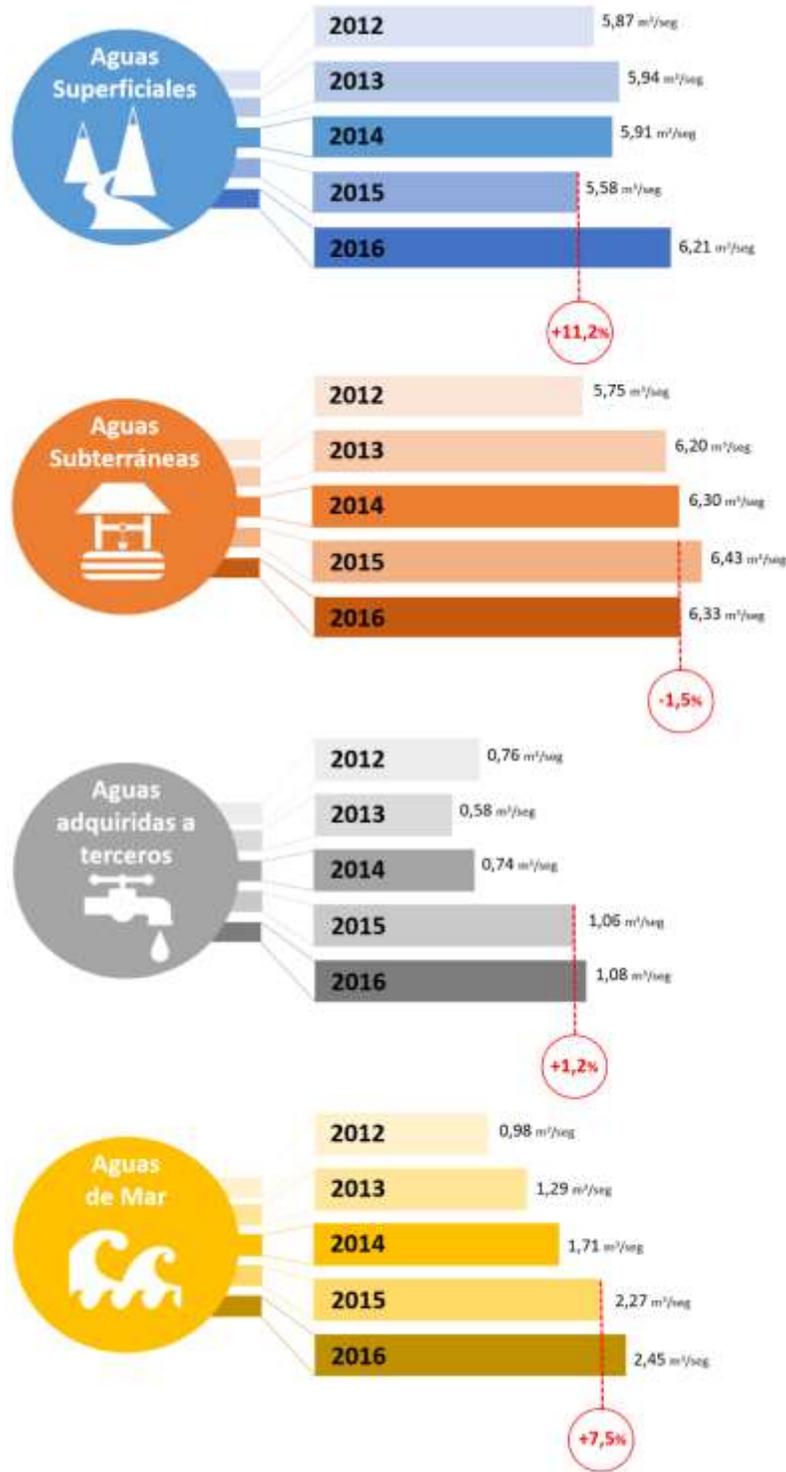
A nivel nacional para el año 2016 la mayor fuente de extracción proviene de agua de origen subterráneo, constituyen el 39,4%, por otro lado el agua de origen superficial alcanza el 38,6% del agua, las de origen marino llegan al 15,2% y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6,7%.

La figura 11 muestra la tendencia en el consumo de agua según fuente de origen en la minería del cobre desde el año 2012 al 2016. Se observa que históricamente las aguas subterráneas son la mayor fuente de abastecimiento para la industria, aunque su proporción ha variado en el tiempo con una leve tendencia a la baja (44% en 2010 vs 41% en 2016).

El caso de las aguas de origen marino serán analizadas específicamente en el capítulo 3.



Figura 11: Tendencia en el consumo de aguas en la minería del cobre según fuente de origen 2012-2016



Fuente: Cochilco

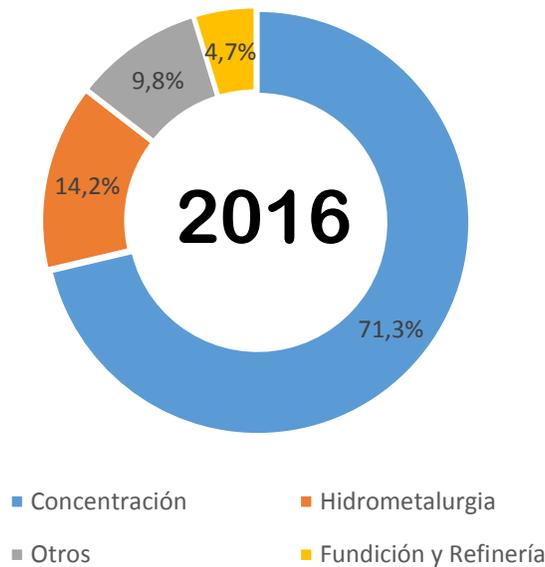


### 1.3.4 Consumo de agua por proceso minero

En esta ocasión analizaremos los consumos por procesos de aguas continentales, pues son aquellas que están sujetas a restricciones de disponibilidad.

De los 13,61 m<sup>3</sup>/seg de aguas continentales utilizados en la minería del cobre durante el 2016, estos se pueden clasificar de acuerdo a los procesos mineros a los que son destinadas el uso del agua.

**Figura 12: Distribución porcentual de las aguas según proceso minero 2016**



Fuente: Cochilco

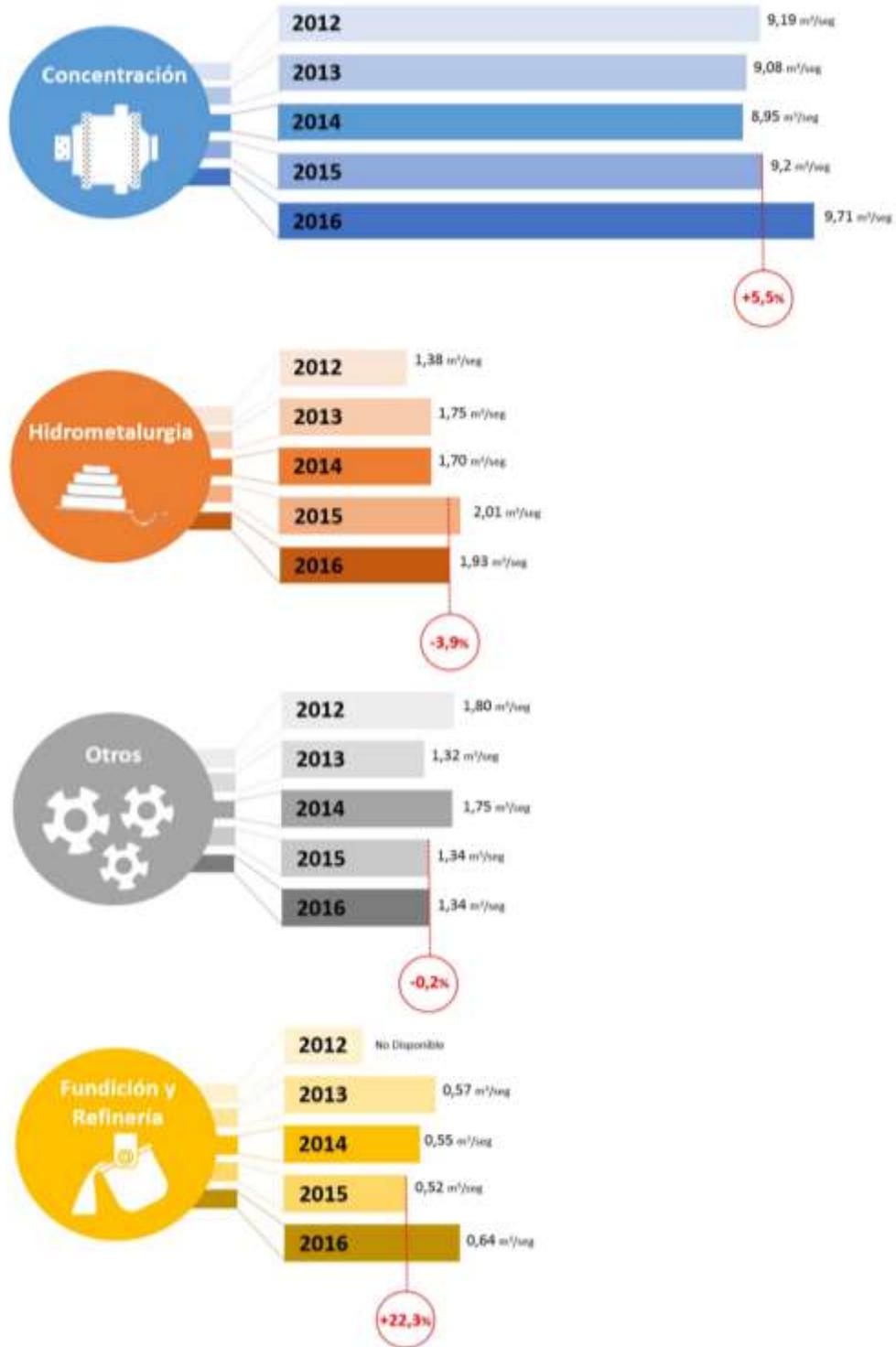
Durante el 2016 el principal consumo de agua continental en la minería del cobre fue en el proceso de concentración de minerales sulfurados para la obtención de concentrados, el cual representa el 71% de las aguas continentales utilizadas en la minería. Le sigue el proceso de hidrometalurgia para la obtención de cátodos a partir de minerales oxidados, este proceso alcanzo el 14% del total de aguas continentales.

Por otra parte está el área mina y servicios, que conforman el ítem otros, en este punto se contabilizan las aguas utilizadas en campamentos, para riego, el agua utilizada para la supresión de polvo en caminos y otros procesos de bajo consumo de agua. El área otros representa el 10% del consumo de aguas continentales en la minería del cobre.

Finalmente el área de fundición y refinería representa el 5% del consumo total de aguas continentales.



Figura 13: Tendencia en el consumo de aguas continentales en la minería del cobre según proceso productivo 2012-2016



Fuente: Cochilco



De acuerdo a la figura 13, al analizar la variación de los consumo por proceso minero se observa que efectivamente el proceso de concentración para minerales sulfurados se mantiene como el mayor área de consumo, puesto que es el proceso que requiere mayor cantidad de agua.

En los últimos cuatro años su consumo ha visto un aumento a una tasa del 1,4% anual, mientras en el caso de la hidrometalurgia de minerales oxidados el consumo se ha mantenido más bajo en proporción, sin embargo su tasa de crecimiento anual es de 9,6%.

Cada proceso presenta consumos unitarios de agua distintos por diversos factores. En la actualidad se utilizan muchas técnicas para minimizar el consumo y recircular la mayor cantidad de agua posible, de manera de reducir la cantidad de agua fresca. Sin embargo hay pérdidas que, si bien han disminuido considerablemente gracias a la tecnología, siguen ocurriendo durante los procesos.

**Tabla 1: Principales fuentes de pérdidas de agua**

Principales pérdidas de agua en el proceso de Concentración	Principales pérdidas de agua en el proceso de Hidrometalurgia
Filtraciones	Evaporaciones en las pilas de lixiviación
Evaporaciones en colas de los estanques de flotación y espesamiento	Evaporaciones en los estanques
Retenciones en materiales de las colas	Lavado de la fase orgánica
Pérdidas de infiltración en tranques	Descarte de soluciones
Pérdidas en transporte de concentrados y relaves	

Fuente: Cochilco

### 1.3.5 Consumo de agua por región

La distribución de los recursos hídricos es desigual a lo largo del país, por lo que no basta con conocer el consumo a nivel nacional, es ineludible estar al tanto de los consumos de agua a nivel regional, de manera de poder enfatizar los esfuerzos en las zonas con mayor estrés hídrico.

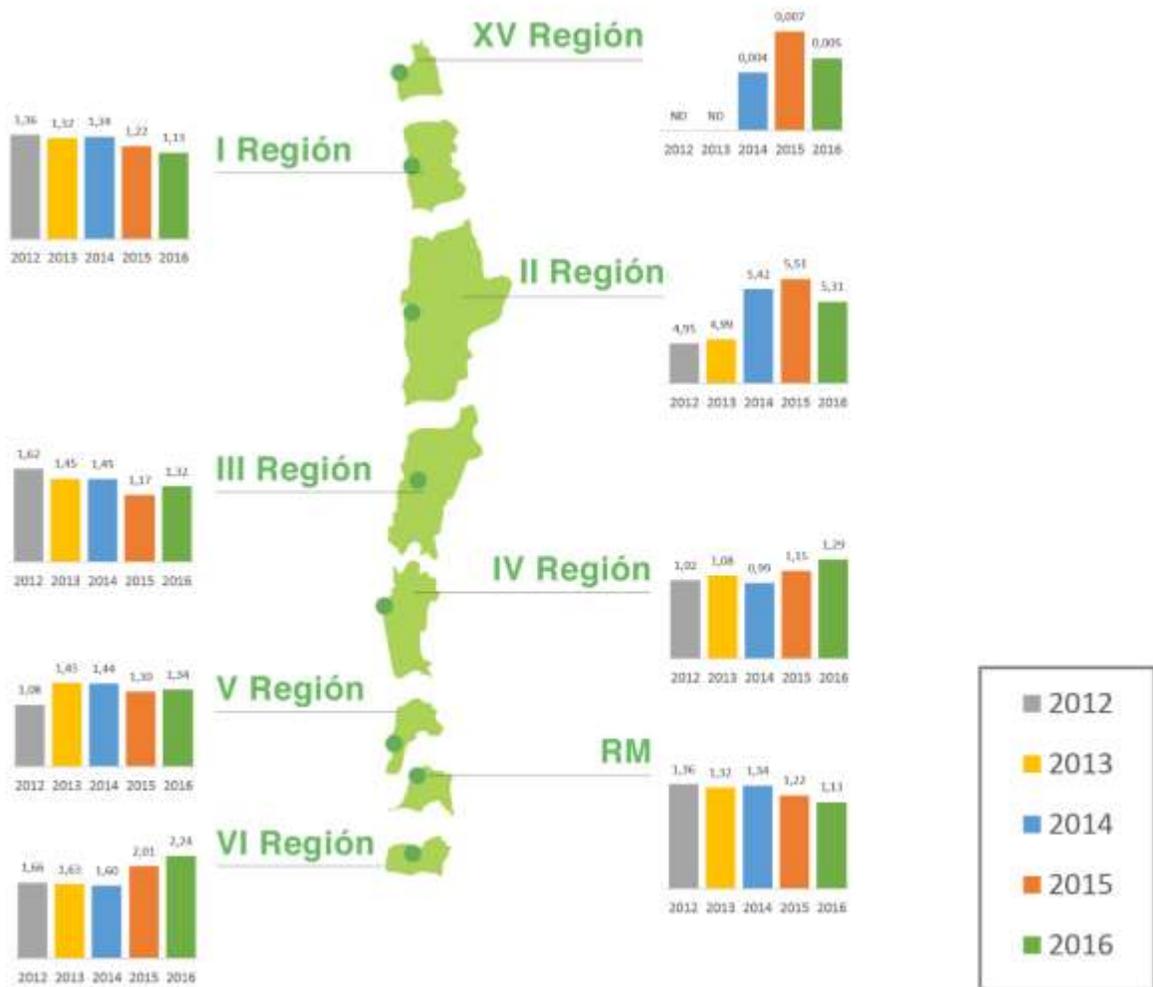
Si bien la minería no es quien más agua utiliza de forma consuntiva, esta actividad está ubicada principalmente en la zona norte y centro, donde la disponibilidad es menor que en la zona sur. Además la minería se ubica aguas arriba en las cuencas, lo cual implica relacionarse con otros actores y usuarios, principalmente para la agricultura y el consumo doméstico que se ubican aguas abajo.

Cada región tiene características diferentes: distinta disponibilidad de agua, mayor o menor zonas urbanas, diferentes tipos de agricultura, etc. Es por ello que es necesario una medición a nivel regional.



La figura 14 muestra la tendencia en el consumo de aguas continentales a nivel regional. El consumo es liderado por Antofagasta, región que produce más del 50% del cobre en Chile, seguido por la región de O'Higgins.

**Figura 14: Tendencia en el consumo de aguas continentales en la minería del cobre a nivel regional 2012-2016**



Fuente: Cochilco

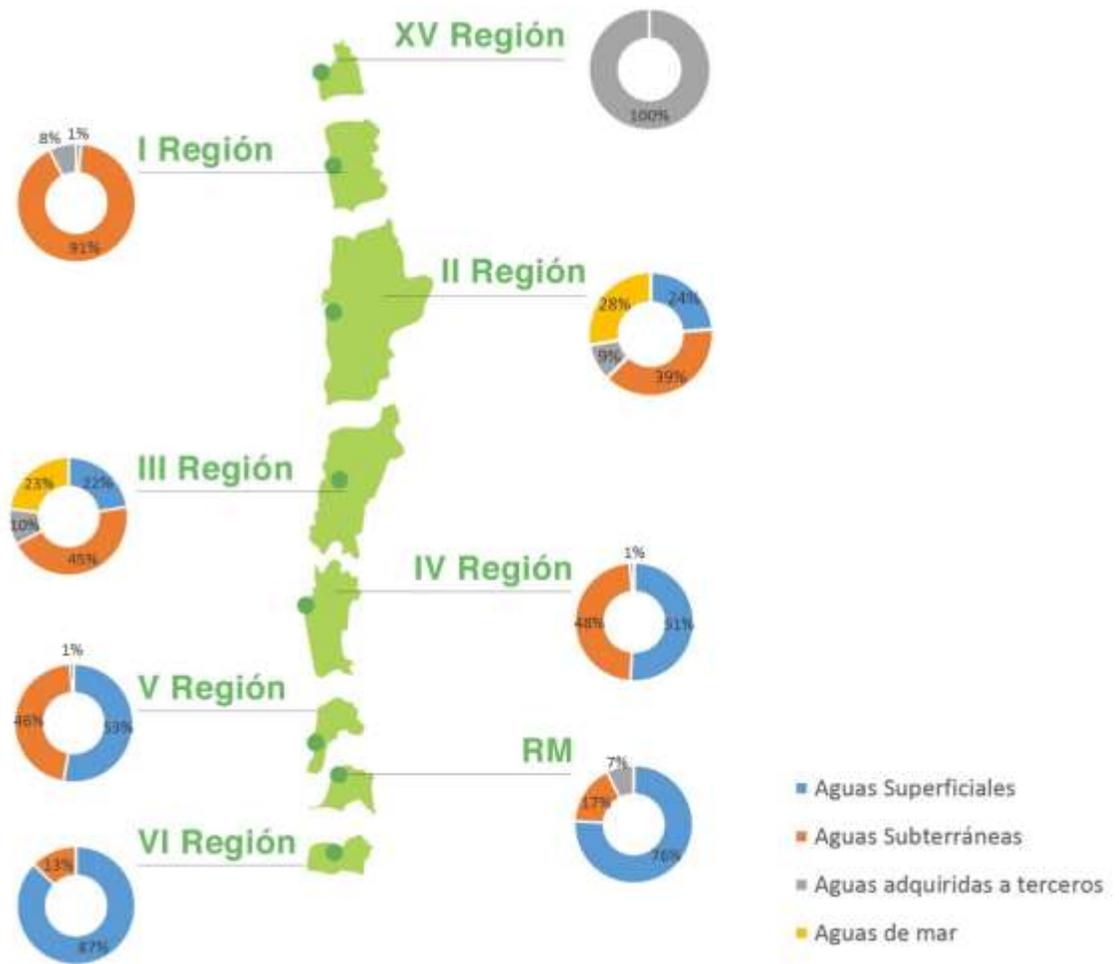
El análisis de las variaciones anuales por región, destaca la región de Antofagasta, que representa el 40% del consumo de aguas continentales por parte del sector de la minería del cobre. Para el 2016 presenta una disminución del 4% respecto al 2015. No obstante, las regiones Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, incrementaron sus consumos de aguas continentales respecto al 2015. Este aumento en general se debe a un mayor procesamiento de mineral, pero es importante buscar soluciones que reduzcan el consumo de aguas continentales de manera de disminuir el consumo.



**1.3.5.1 Consumo de agua por región según fuente de abastecimiento**

En la figura 15 se observa la distribución porcentual según fuente de abastecimiento en cada región para el año 2016. Vemos que en la zona norte las aguas provienen principalmente de aguas subterráneas, mientras que en la zona centro y centro sur las aguas provienen de aguas superficiales. Esto se condice con la disponibilidad de recursos hídricos características de cada zona. Esta información permite gestionar y generar políticas orientadas a un mejor uso de los recursos según las necesidades de cada región.

**Figura 15: Distribución porcentual del consumo de agua según fuente de abastecimiento en la minería del cobre a nivel regional 2016**



Fuente: Cochilco

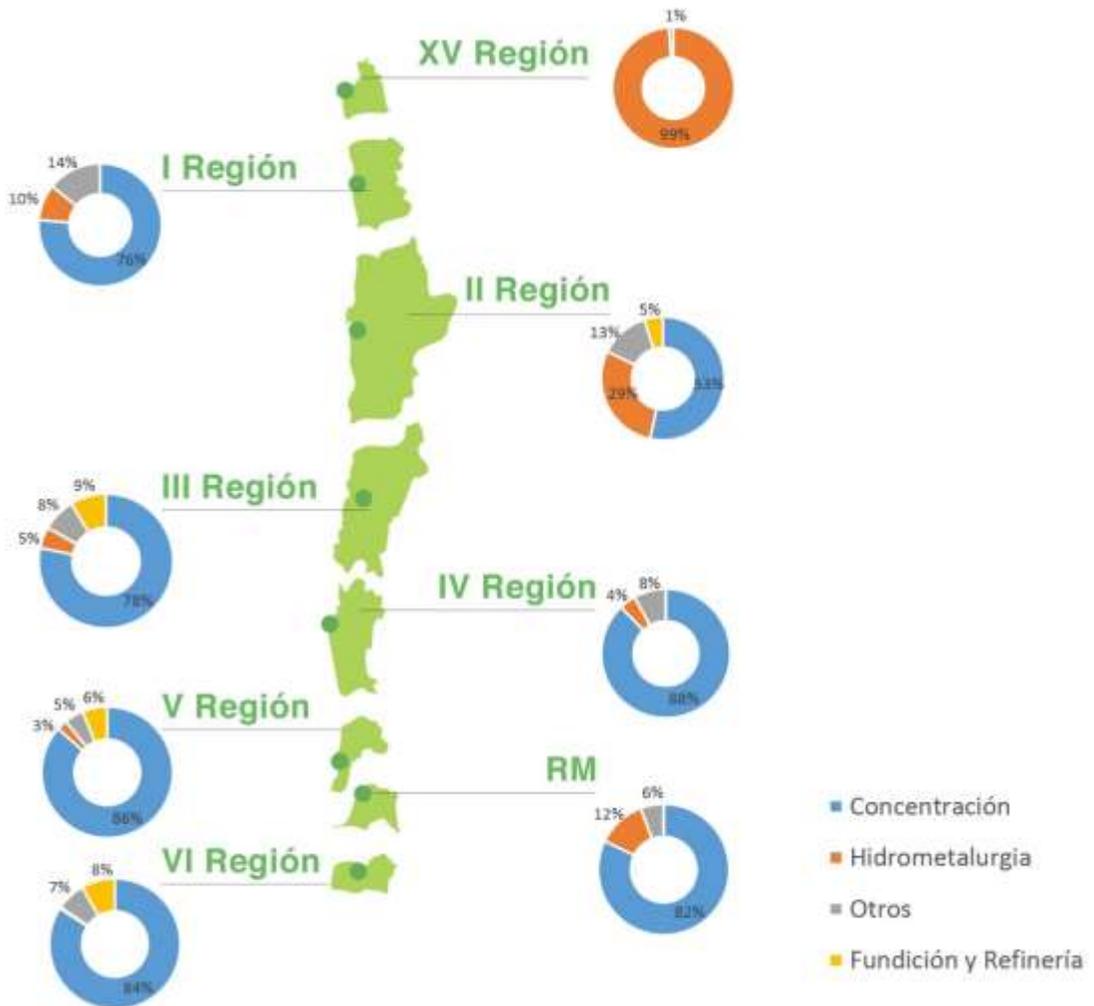


**1.3.5.2 Consumo de agua continental por región según proceso minero**

El análisis por proceso minero a nivel regional nos indica que en todas las regiones, (a excepción de Arica y Parinacota, que es muy poco representativa dado el bajo volumen de producción) el principal proceso donde se utiliza el agua en la concentración.

Por lo tanto la búsqueda de metodologías para reducir los consumos de agua debiese ir enfocada en desarrollar tecnologías y/o soluciones orientadas a la línea de minerales de sulfuros para reducir el consumo de agua en su procesamiento.

**Figura 16: Distribución porcentual del consumo de agua según proceso en la minería del cobre a nivel regional 2016**



Fuente: Cochilco



## **Capítulo 2:**

# **Gestión del agua**



## Capítulo 2: Gestión del agua

En este capítulo se muestran los coeficientes unitarios de agua continental por tonelada de mineral procesado, tanto para el proceso de concentración como el de hidrometalurgia. En primer lugar se analizan los datos históricos a nivel nacional, luego por región y por tamaño de minería, donde se analiza la distribución por quintiles de acuerdo a la cantidad de mineral tratado en cada proceso.

Finalmente se analiza la información de recirculación en las operaciones mineras, ya que en una adecuada gestión de los recursos es primordial privilegiar las opciones de reciclaje por sobre el uso de agua continental.

### 2.1 Intensidad de uso

La mejora de la eficiencia en el uso del agua significa aumentar la productividad del agua; es decir, reducir la intensidad de uso del agua a través de la maximización del valor de los usos del agua, mejorar la asignación del agua entre los diferentes usos a fin de obtener un mayor uso.

#### 2.1.1 Coeficientes unitarios por proceso

En la figura 17 se observan los coeficientes unitarios por proceso, esto es decir la cantidad de agua de origen continental para procesar una tonelada de mineral. En este aspecto las leyes del mineral juegan un rol fundamental, pues para obtener una misma cantidad de cobre fino tendremos que procesar una mayor o menor cantidad de mineral dependiendo de su porcentaje de cobre contenido.

**Figura 17: Coeficientes unitarios según proceso minero 2012-2016**



Fuente: Cochilco



Para el caso de la línea hidrometalúrgicas el aumento en el coeficiente unitario a nivel nacional se debe principalmente al aumento del mineral tratado en las plantas de menor tamaño, ya sea por baja de leyes o mayor extracción, mientras que los consumo de agua aumentaron en mayor medida, provocando un aumento en el consumo unitario. En otros casos el mineral tratado disminuyó, pero el consumo de agua se mantuvo al mismo nivel. Y un último factor fue la actualización de datos históricos de una faena de mayor envergadura en particular, que a pesar de la disminución en el mineral tratado por un aumento de ley particular, el consumo de agua continental para su tratamiento experimentó un aumento considerable, lo que se traduce en un mayor consumo unitario.

Ahora bien, en el caso de la concentración, sucede lo contrario, puesto que la tendencia en los últimos años es a la baja. Esto se debe principalmente porque en muchas operaciones aumento la cantidad de mineral procesado, principalmente por disminución en las leyes, con un aumento menor en la cantidad de agua continental utilizada, con lo cual el consumo unitario disminuye. En este caso es importante la disminución de una operación en particular de gran tamaño, que disminuyó la cantidad de mineral procesado y también su ley, pero al mismo tiempo disminuyó la cantidad de agua continental necesaria para la producción de concentrados.

### 2.1.2 Coeficientes unitarios por región

La figura 18 muestra la variación de los coeficientes unitarios, donde se observa una constante mejora en la región de Antofagasta y de Atacama, principalmente por el uso de agua desalinizada. Es importante destacar la eficiencia alcanzada en la región de Antofagasta, llegando a los 0,38 m<sup>3</sup>/ton de mineral procesado en concentradora, por debajo del promedio nacional. Esta es la región con mayor representatividad de la producción de cobre.

En la región de Coquimbo y la región Metropolitana, la baja en la *performance* es producto de la incorporación de datos de pequeñas mineras que tienen más dificultades en lograr eficiencias de escala.



Figura 18: Coeficientes unitarios en la minería del cobre por región 2012-2016



Fuente: Cochilco

En el caso de la hidrometalurgia destaca la región de Atacama, donde se aprecia una baja constante en los últimos años en el uso de agua continental (a pesar de que el último año aumentó), manteniendo el mejor rendimiento a nivel nacional. Esto principalmente por el uso de agua de mar para la lixiviación.

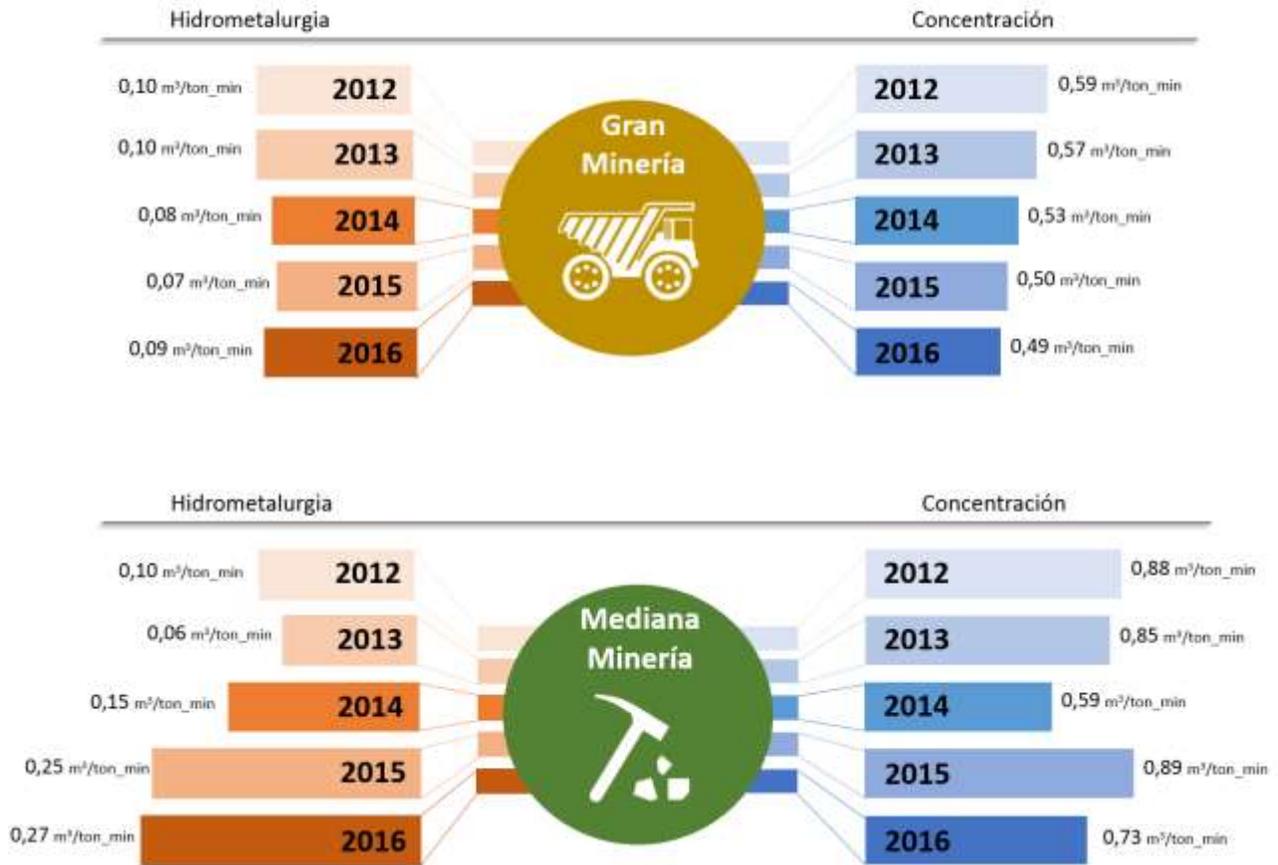
### 2.1.3 Coeficientes unitarios según tamaño de minería

El tamaño puede afectar la eficiencia en el uso del recurso, es por ello que a continuación se presenta un análisis del consumo de agua continental por mineral procesado para cada proceso según la escala de producción.



Para este análisis consideramos gran minería del cobre, aquellas operaciones que procesan una cantidad mayor o igual a 8.000 tpd, y consideraremos de mediana minería las que estén por debajo de ese umbral.

**Figura 19: Coeficientes unitarios en la minería del cobre por tamaño de minería 2012-2016**



Fuente: Cochilco

Con estos resultados podemos decir que el tamaño afecta en la eficiencia, puesto que permite generar economías de escala e invertir en tecnologías nuevas que permitan disminuir el consumo de agua, que justifican económicamente la mayor aplicación de medidas para aumentar la conservación de los recursos hídricos y su reutilización en el tratamiento.

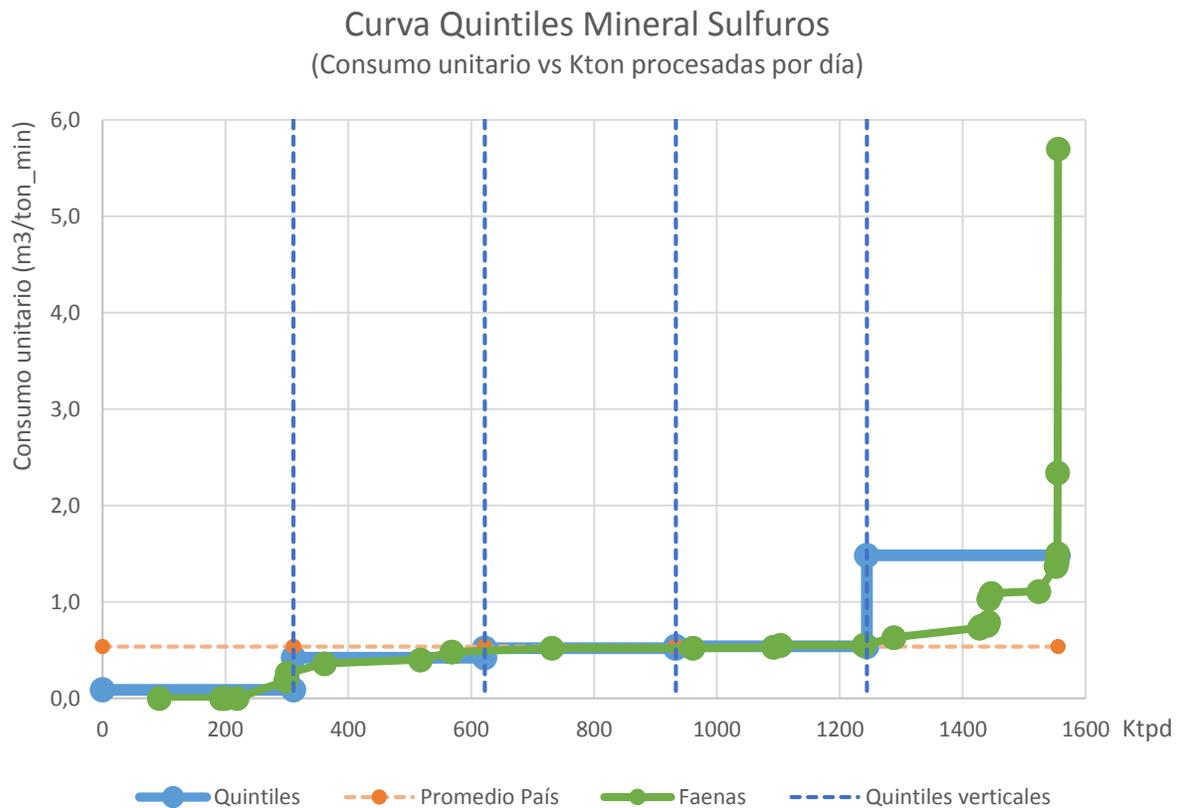
Sin embargo, es importante rescatar el uso de agua de mar en algunas operaciones de mediana minería para la obtención de cátodos, lo que permite un uso eficiente de los recursos hídricos y demuestra una vez más el compromiso del sector por disminuir el consumo de agua de origen continental.



### 2.1.4 Quintiles de distribución según mineral procesado

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. Al dividir el mineral procesado acumulado en quintiles según las miles de toneladas procesadas por día, se puede hacer un análisis más detallado de la influencia del tamaño de las plantas en el consumo unitario. Cada quintil es representado por la línea de color azul expresado en Ktpd y cuya altura corresponde al promedio del consumo unitario de agua fresca en m<sup>3</sup>/ton de ese quintil. La línea verde expresa el nivel de tratamiento de mineral, donde la distancia de un punto a otro (distancia horizontal entre los círculos) representa el tamaño de la operación. Así mientras mayor sea la distancia entre los puntos, mayor será el nivel de mineral procesado por la faena.

**Figura 20: Curva quintiles para mineral sulfuros 2016**



Fuente: Cochilco

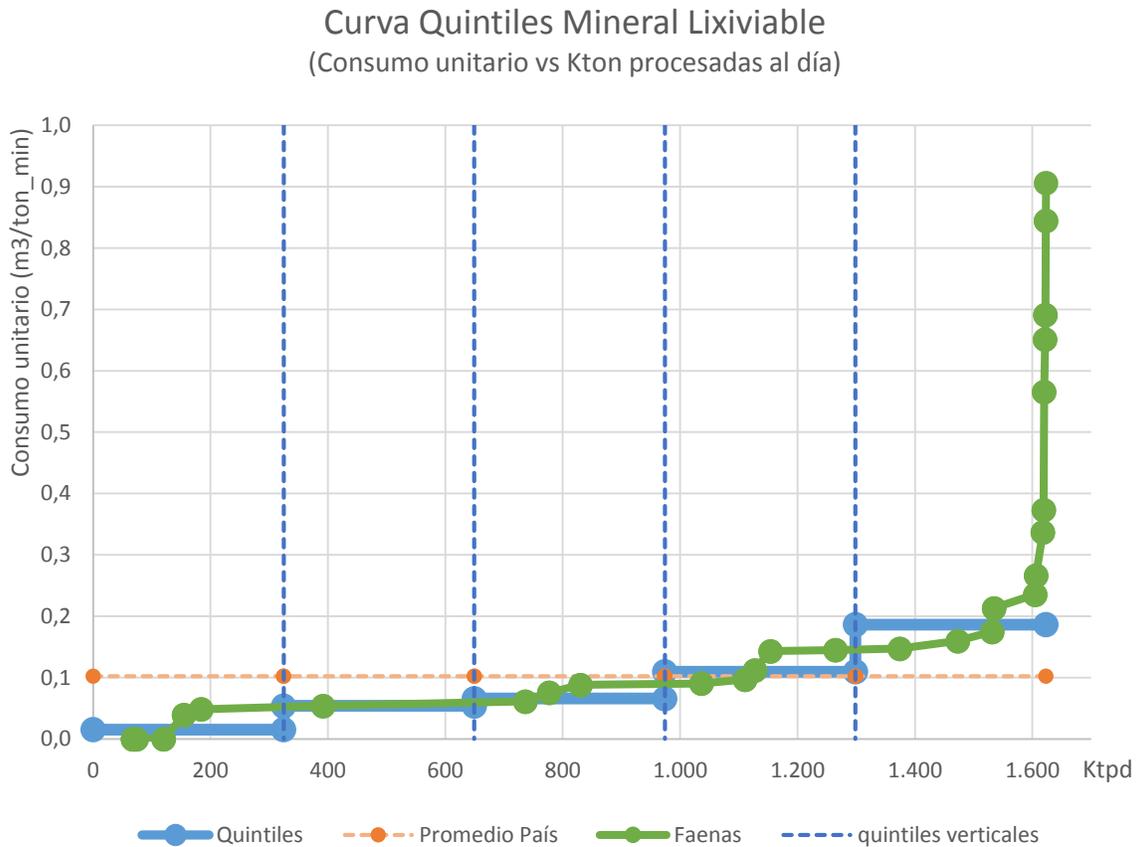
La figura 20 permite discriminar a las empresas en los primeros quintiles, las cuales son mayoritariamente aquellas que utilizan agua de mar, lo que les permite reducir su consumo de agua continental, seguidas por aquellas con mayores tasas de recirculación de agua en la concentradora. En la parte alta de la curva, se presentan principalmente plantas de mayor antigüedad, lo que afecta su rendimiento en lo relativo al indicador mostrado. Esta situación se debe principalmente a la



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

En la figura 21, para el caso de la hidrometalurgia, vemos que en general las empresas de menor tamaño, representado por la distancia horizontal entre los puntos de la línea verde, son menos eficiente que el promedio de la industria

**Figura 21: Curva quintiles para mineral óxidos 2016**



Fuente: Cochilco

De acuerdo a los datos se concluye la importancia de la escala para lograr una mayor eficiencia en el consumo en este tipo de proceso. Las operaciones ubicadas en la parte baja de la curva, son aquellas que utilizan agua de mar, sin embargo un componente característico de las operaciones que tienen mayor eficiencia concierne al hecho de estar especializadas en la producción de cátodos por vía de la electro obtención, dejando así a las operaciones mixtas que poseen ambos procesos metalúrgicos en la zona intermedia del gráfico. En la zona alta se observan operaciones de menor tamaño y algunas operaciones más antiguas.



## 2.2 Recirculación

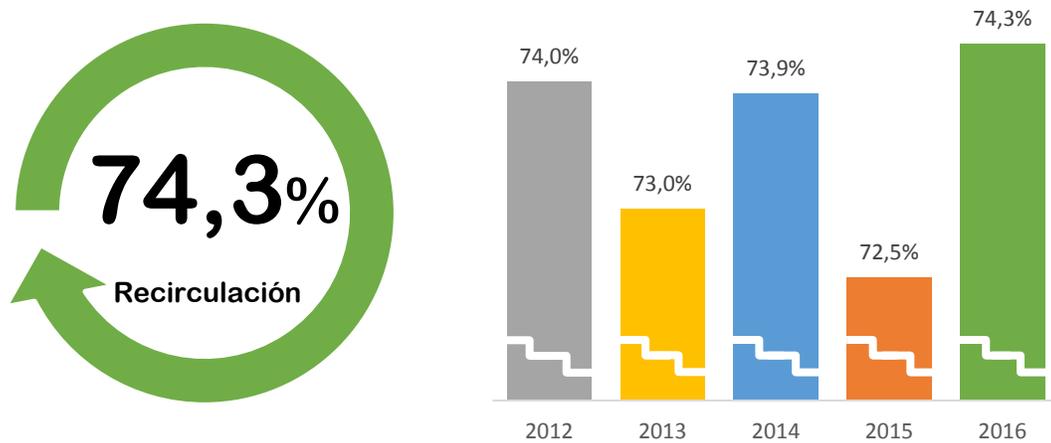
La recirculación es clave en la gestión de los recursos hídricos en la minería del cobre, los excedentes de agua pueden ser reutilizados dentro de un mismo proceso, en etapas diferentes, o enviadas desde y hacia procesos distintos, de acuerdo a los requerimientos de calidad y cantidad de cada uno de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

A continuación se analiza la recirculación tanto en las operaciones como en la concentradora.

### 2.2.1 Recirculación en operaciones

A nivel nacional la tasa de recirculación en las faenas es de un 74,3%, ponderado según la producción de cada región. Este porcentaje se calcula como el total de aguas recirculadas que entran a la operación dividido por el flujo total de aguas que entran independiente de su fuente de origen.

**Figura 22: Tendencia en tasa de recirculación en operaciones de la minería del cobre 2012-2015**



Fuente: Cochilco

De acuerdo a los datos entregados por las empresas, durante el 2016 la región con mayor porcentaje de recirculación de agua en la faena fue la región de Coquimbo con un 80%, principalmente por las tasas de la operación Los Pelambres. Esta región se encuentra bajo un severo estrés hídrico y corresponde a la región donde hay más competencia por el agua para otros usos, como el agrícola. Luego viene la Región Tarapacá con un 79,6%, gracias a la operación de Quebrada Blanca que aumentó considerablemente la tasa de recirculación.

En el caso de los minerales de sulfuros, al maximizar la recirculación desde los espesadores y tranques, evitando fugas y minimizando evaporaciones es posible alcanzar bajos valores de



consumo. Por otra parte en el caso de los óxidos, recirculando las soluciones, evitando infiltraciones y minimizando la evaporación el consumo de agua puede optimizarse.

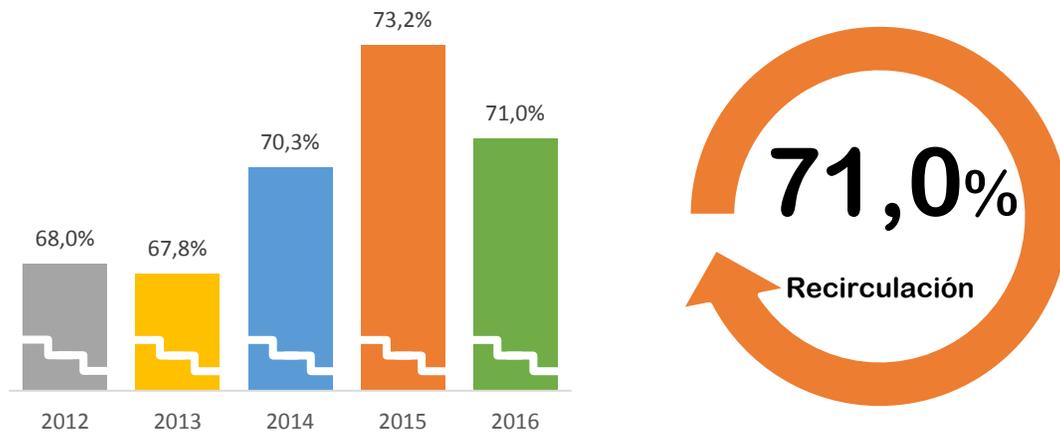
### 2.2.2 Recirculación en planta concentradora

El porcentaje de recirculación se calcula dividiendo la cantidad total de agua recirculada por el total de agua utilizada en el proceso incluyendo la recirculación y el flujo neto de las reservas de agua.

En el caso de la concentradora la recuperación de las aguas debe ser maximizada para minimizar el consumo de aguas continentales y disminuir la cantidad de descarga. Al ser un proceso muy intensivo en el uso del recurso, sobre todo por el proceso de flotación, es deseable reutilizar la mayor cantidad de agua posible.

A nivel nacional la tasa de recirculación en las plantas concentradoras es de un 71%. En general, cuando las faenas tienden a igualar el consumo de agua fresca con el uso total de agua en la operación es porque la recirculación no resulta técnicamente factible. Habitualmente esto ocurre cuando la planta concentradora se encuentra ubicada a mayor altura que los relaves y/o espesadores, lo que significa un alto costo energético y de inversión para bombear agua de vuelta al proceso, siendo económicamente inconveniente.

**Figura 23: Tendencia en tasa de recirculación en concentradora de la minería del cobre 2012-2015**



Fuente: Cochilco

La III Región de Atacama es la que tiene mayor tasa de recirculación en la planta concentradora con un 82%, principalmente gracias a la acción de las operaciones de Caserones y Candelaria, y en menor medida por Salvador que aumentó en relación al año anterior. La Región de Coquimbo también alcanza altos valores de recirculación alcanzando un 80% gracias a la operación Los Pelambres,



## **Capítulo 3: Agua de Mar**



## Capítulo 3: Agua de Mar

### 3.1 Tendencia en el uso del agua de mar

El cambio climático, el crecimiento de la población y el uso de agua a nivel industrial, entre otros, influyen en la disponibilidad de agua, mientras que la expansión de la infraestructura urbana y el aumento de la población también ejercerán presión sobre la cantidad y calidad de los cursos de agua naturales. Esto significa que las soluciones de agua a largo plazo deben ser flexibles, adaptables y ambientalmente sostenibles. En este sentido la diversificación de la fuente resulta esencial para la estrategia de agua, y el agua de mar es una fuente abundante.

El sector con mayor aprovechamiento de agua de mar es el minero, el cual ha sido pionero en el uso de este recurso, impulsando además una creciente mejora en las tecnologías de impulsión del recurso hídrico.

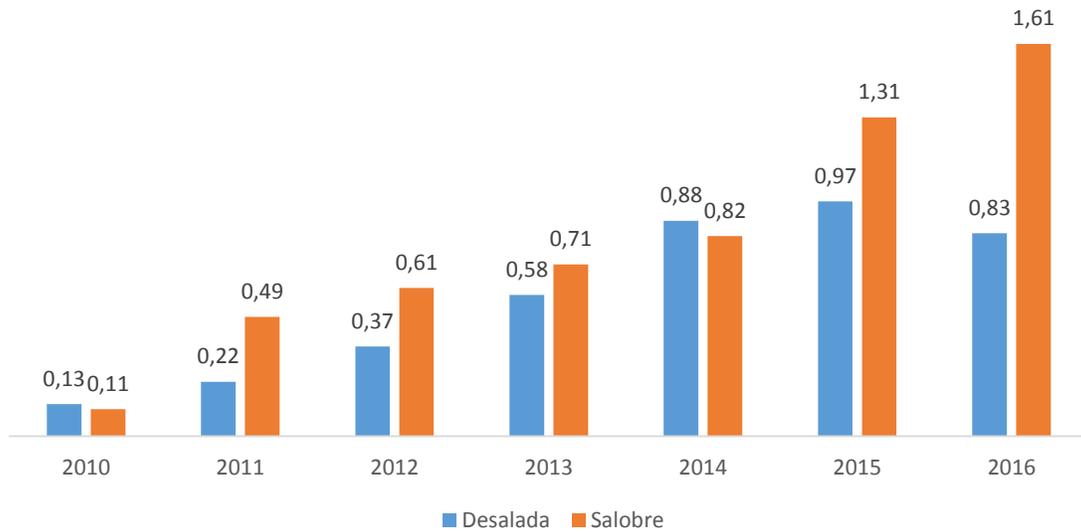
La menor disponibilidad de agua en el país se presenta de manera más brusca en la zona norte, en donde se concentra la mayor parte de la actividad minera de Chile. Lo anterior ha motivado a las empresas mineras a buscar nuevas fuentes de abastecimiento para asegurar la producción o mantener distintas propuestas de valor ante sus comunidades. Bajo este concepto, el uso de agua de mar, salada o desalada, ya es una variable 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.

Cabe destacar la tendencia al alza del uso de agua de mar para la minería, la cual se ha mantenido y el último año tuvo un incremento del 7,5% respecto al año anterior. El uso de agua de mar es parte de un enfoque integrado para la gestión de la oferta y la demanda de agua, lo que permite que a los entornos tener una mayor seguridad de abastecimiento.

La figura 24 muestra la evolución del consumo de agua de mar en la minería del cobre desde el año 2010 al 2016, con una tasa de crecimiento promedio del orden de 40 %.



**Figura 24: Uso de agua de mar en la minería del cobre 2010-2016 (m<sup>3</sup>/seg)**



Fuente: Cochilco

Al 2016 el agua de mar en la minería del cobre alcanzó los 2,45 m<sup>3</sup>/seg, que representa un 15% del agua utilizada en minería, de ellos 1,61 m<sup>3</sup>/seg corresponden a agua de mar utilizada directamente en los procesos con un alto contenido de sal, mientras que 0,83 m<sup>3</sup>/seg es de agua previamente desalinizada.

Es fundamental estar al tanto de la estrecha relación que existe entre el uso de agua de mar y el consumo energético, pues de una manera u otra estamos traspasando el obstáculo de escasez hídrica a un problema energético. El costo del agua se transforma ineludiblemente en costo energético. Tal contexto indica que la tendencia será incorporar tecnologías de recuperación de energía y de monitoreo remoto, de modo de incrementar la confiabilidad y reducir el costo de operación de estos sistemas. Esto pone de relieve la importancia de una mayor integración entre el agua y la energía sostenible, en el que la reutilización del agua, combinado con la gestión integrada por cuencas, podrían proporcionar una solución para la escasez observada en las cuencas altamente vulnerables ubicadas en ambientes áridos. A escala regional, compartir la red de tuberías e infraestructura de desalinización para el suministro de agua de mar entre las distintas empresas de minería aparece como una propuesta lógica para un menor consumo de energía y la disminución de los costos financieros.

Sin embargo, no debemos olvidar que el agua de mar es sólo una opción de seguridad del agua, y los diferentes tipos de tratamiento de agua deben trabajar juntos para proporcionar una estrategia global, también se deben tener en cuenta todas las opciones alternativas disponibles, incluyendo la mejora en eficiencia, el reciclaje y nuevas tecnologías, y considerar los diferentes tipos de agua para diferentes propósitos según su calidad.



### **3.2 Operaciones y nuevos proyectos mineros en carpeta**

La escasez de agua en algunas regiones del norte de Chile se ha transformado en un tema estratégico para industrias como la minería. La búsqueda de opciones para enfrentar la estrechez hídrica ha llevado a las empresas a privilegiar, sobre todo, una de ellas: la construcción de plantas desalinizadoras.

Al utilizar agua desalinizada o agua directa de mar se liberan recursos de agua fresca que puedan ser requeridos. El agua fresca proviene de fuentes subterráneas, por ejemplo, acuíferos (la mayor parte del norte es de esta fuente) y de fuentes superficiales, como puede ser un río

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.



**Tabla 2: Catastro plantas desaladoras y Sistemas de impulsión de agua de mar (SIAM) al 2017**

Año puesta en marcha	Estado	Compañía	Nombre	Región	Capacidad Planta Desaladora (lts/seg)	Capacidad Agua de Mar Directa (lts/seg)
-	Operando	BHP Billiton	Planta Coloso	Antofagasta	525	-
-	Operando	Antofagasta Minerals	Distrito Centinela (Ex Esperanza)	Antofagasta	50-150	780-1.500
-	Operando	SLM Las Cenizas	Las Cenizas Tal Tal	Antofagasta	9	55
-	Operando	Enami	Planta Taltal	Antofagasta	-	15
-	Operando	Compañía Minera Tocopilla	Mantos de Luna	Antofagasta	20	5
-	Operando	Lundin Mining	Candelaria	Atacama	300-500	-
-	Operando	AngloAmerican	Mantoverde	Atacama	120	-
-	Operando	KGHM	Sierra Gorda	Antofagasta	63	300- 1.300
-	Operando	Antofagasta Minerals	Agua desalada Antucoya	Antofagasta	50	280
-	Operando (Proyecto Detenido)	Minera Pampa Camarones	Pampa Camarones	Parinacota	5	25
-	Operando	CAP	Cerro Negro Norte (Hierro)	Atacama	400-600	-
2017 (*)	En Construcción	BHP Billiton	Escondida Water Supply (EWS)	Antofagasta	2.500	-
2018	Factibilidad	Lundin Mining	Candelaria 2030	Atacama	500	-
2018	EIA Aprobado	Antofagasta Minerals	Encuentro Oxidos	Antofagasta	-	Ampliación tuberías de Esperanza
2019	EIA Presentado	Antofagasta Minerals	Encuentro Sulfuros (Desarrollo Minera Centinela)	Antofagasta	-	Ampliación tuberías de Esperanza
2019	EIA en calificación	BHP Billiton	Spence Growth Project (Minerales primarios)	Antofagasta	800 - 1.600	-
2019	EIA Aprobado (Proyecto Detenido)	Capstone	Agua de mar Santo Domingo	Atacama	22,5	400
2019	EIA Aprobado	Copec	Diego de Almagro	Atacama	30	315
2020	Sin EIA	Antofagasta Minerals	Los Pelambres ampliación marginal - Fase 1	Coquimbo	400	-
2021	EIA Aprobado (Para RT fase II)	Codelco Norte	Distrito Norte	Antofagasta	630-1.680	-
2021	EIA en calificación	Teck	Quebrada Blanca fase 2	Tarapacá	1.300	-
S/I	Sin EIA	Goldcorp y Teck	Nueva Unión	Atacama	740	-
S/I	Sin EIA	Freeport McMoran	El Abra Mill Project	Antofagasta	500	-

Fuente: Cochilco en base a información pública.

En cuanto al desarrollo a futuro, se prevén al menos 12 proyectos con uso directo de agua de mar y/o desalinización, los que también se ubican en la zona norte del país, manteniendo una mayor participación la Región de Antofagasta, seguida de la Región de Atacama, con un nuevo potencial en las regiones de Tarapacá y Coquimbo.

Entre los proyectos más emblemáticos por su envergadura destacan la nueva desalinizadora de Minera Escondida, actualmente en construcción, y el de Distrito Norte, de Codelco.

Pero en el análisis no hay que dejar de lado la importancia de la localización de las operaciones, pues no todas pueden abastecerse de agua de mar. Gran parte del nuevo consumo de agua de mar, provendría de las regiones de Antofagasta y Atacama, sin embargo en regiones como Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins el uso de agua de mar no es siempre factible técnica, económica o socialmente. En la zona Metropolitana por ejemplo, las tuberías de impulsión podrían tener consecuencias negativas en el aspecto social, o también podrían existir desafíos técnicos que no permitan la llegada de agua de mar, es por ello que es importante considerar las singularidades de cada operación y su entorno en la definición de su abastecimiento hídrico.

Por lo tanto, al establecer políticas públicas se podría procurar un marco más flexible que de opciones a las operaciones industriales, como establecer mecanismos de intercambio de derechos de agua "swaps", que le permitan utilizar el agua de la cordillera y a cambio entregan agua de mar a los pueblos costeros, y evitan así los grandes costos sociales y económicos de las tuberías de impulsión.

Otro punto fundamental es analizar donde se ubicarían las plantas desaladoras. Si cada actor construye su propia planta y tuberías, se daría un problema asociado a los posibles impactos directos e indirectos en las costas de la zona norte y centro. En este sentido surge la opción de regular la extracción del agua de mar, mediante políticas públicas que ante la futura demanda de agua logren establecer lugares para desarrollar plantas desaladoras, que abastezcan a los sectores productivos, ya sea por región, cuenca, u otra unidad, en base a la demanda futura de estos sectores, que aprovechen economías de escala, y así lograr un diseño lo más eficiente posible.



## **Capítulo 4:**

# **Comentarios finales**



## Capítulo 4: Comentarios finales

De acuerdo a la información entregada por las empresas a través de la encuesta de “Producción, energía y recursos hídricos” se estima que el consumo de aguas continentales en la minería del cobre alcanzó los 13,61 m<sup>3</sup>/seg durante el año 2016. Esto representa un aumento del 4% con respecto al año anterior.

En general, los minerales con menores leyes requieren más agua para el procesamiento. Con el agotamiento de los recursos, la explotación de minerales de baja ley va en aumento, lo que genera un aumento en la demanda de agua. El enfoque debe ir en buscar alternativas de eficiencia o nuevas fuentes de abastecimiento de manera que el consumo de agua continental no aumente, y mejor aún, disminuya.

La disminución progresiva en las leyes de los minerales conlleva un procesamiento de mayor cantidad de mineral, lo que significa un mayor uso de agua para obtener la misma cantidad de cobre. Es por esto que es importante destacar, que a pesar del aumento en la cantidad de mineral procesado el uso de agua continental se ha mantenido dentro de un rango estable en los últimos años, ya que se ha aumentado la eficiencia en el uso del recurso hídrico.

Para dicho periodo, al analizar los consumos de agua por tipo de fuente de abastecimiento se obtiene que a nivel nacional las aguas de origen subterráneo alcanzan un 39,4% de las extracciones, las de origen superficial un 38,6%, aquellas adquiridas a terceros un 6,7% y las de aguas provenientes del mar constituyen un 15,2% del total.

A nivel de proceso, un 71% del consumo de agua continental se utiliza en el procesamiento mediante flotación para la obtención de concentrados de cobre, un 14% es utilizado para la obtención de cátodos electro obtenidos, un 5% se utiliza en la fundición y refinación, mientras que el 10% restante corresponde a ítem “otros” donde se incluye el agua para el área mina y servicios anexos, como campamentos, supresión de polvo y agua potable, entre otros.

Al analizar la información de manera regional vemos que el consumo es liderado por la región de Antofagasta, región que produce más del 50% del cobre en Chile, con un 39% del consumo de aguas continentales a nivel nacional, seguido por la región de O’Higgins, con un 16% del consumo de aguas continentales a nivel nacional.

Ahora bien, en relación al consumo unitario de aguas continentales, que determina la cantidad de agua necesaria para procesar una tonelada de mineral, podemos concluir una mejora en la eficiencia de las operaciones. De acuerdo al diagnóstico elaborado, el consumo unitario promedio para los minerales sulfurados durante el 2016 fue de 0,50 m<sup>3</sup>/ton\_min, mientras que el consumo promedio para los minerales lixiviables fue de 0,1 m<sup>3</sup>/ton\_min, levemente mayor al 2015.

En base a los resultados podemos señalar que el tamaño afecta en la eficiencia, puesto que permite generar economías de escala e invertir en tecnologías nuevas que permitan disminuir el consumo de agua, que justifican económicamente la mayor aplicación de medidas para aumentar la



conservación de los recursos hídricos y su reutilización en el tratamiento. En cuanto a la gestión según tamaño de minería, vemos que en los gráficos de distribución según quintiles de consumo unitario versus la toneladas procesadas por día, se abre una oportunidad de modelo de negocios para plantas desaladoras compartidas, ya que refleja la dificultad de la mediana minería para utilizar este tipo de tecnología, que de ser suministrada por un tercero podría acercar su factibilidad en las operaciones de menor tamaño.

En la misma línea de indicadores de eficiencia, se determinó el porcentaje de reutilización de las aguas, tanto en la faena completa como en la planta concentradora, que para el año 2016 fueron de 74,3% y 71%, respectivamente.

Finalmente con respecto al uso de agua de mar, se observa un consumo de 2,45 m<sup>3</sup>/seg para el 2016, un 7,5% más que el año anterior. Vemos que el consumo de agua de mar está íntimamente ligado al consumo de energía, por lo que se pone de relieve la importancia de una mayor integración entre el agua y la energía sostenible, en el que la reutilización del agua, combinado con la gestión integrada por cuencas, podrían proporcionar una solución para la escasez observada en las cuencas altamente vulnerables ubicadas en ambientes áridos. En esta misma línea, a escala regional, compartir la red de tuberías e infraestructura de desalinización para el suministro de agua de mar entre las distintas empresas de minería aparece como una propuesta lógica para un menor consumo de energía y la disminución de los costos financieros.

La necesidad de agua es un tema crítico para el desarrollo de la actividad, pero su uso eficiente y la búsqueda de nuevas fuentes lo puede transformar en un activo para el desarrollo de la actividad.



## Anexos



## Anexos

Tabla N°1

CONSUMO DE AGUA CONTINENTAL EN LA MINERÍA DEL COBRE POR PROCESO Y TOTAL										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
Concentración	lts/seg	8.724	9.144	8.856	9.190	9.079	8.947	9.201	9.708	5,5%
Hidrometalurgia	lts/seg	2.184	1.856	1.778	1.384	1.751	1.705	2.008	1.930	-3,9%
Otros	lts/seg	1.362	1.651	1.930	1.804	1.324	1.748	1.339	1.337	-0,2%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	566	551	523	640	22,3%
<b>TOTAL PAÍS</b>	<b>lts/seg</b>	<b>12.270</b>	<b>12.651</b>	<b>12.564</b>	<b>12.379</b>	<b>12.719</b>	<b>12.951</b>	<b>13.072</b>	<b>13.614</b>	<b>4,2%</b>

\* El ítem "otros" corresponde a agua utilizada en la mina para la supresión de polvo en caminos, agua potable utilizada en campamentos, y de servicios auxiliares.

\* Fundición y Refinería se encontraba en el ítem otros, al 2015 se integran más fundiciones al catastro y se actualiza 2013 y 2014.

Tabla N°1.1

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL CONSUMO DE AGUA CONTINENTAL EN LA MINERÍA DEL COBRE POR PROCESO										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Concentración	%	71,1%	72,3%	70,5%	74,2%	71,4%	69,1%	70,4%	71,3%	
Hidrometalurgia	%	17,8%	14,7%	14,1%	11,2%	13,8%	13,2%	15,4%	14,2%	
Otros	%	11,1%	13,1%	15,4%	14,6%	10,4%	13,5%	10,2%	9,8%	
Fundición y Refinería	%	-	-	-	-	4,4%	4,3%	4,0%	4,7%	

Tabla N°2

EXTRACCIÓN DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE SEGÚN FUENTE DE EXTRACCIÓN										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	5.867	5.942	5.908	5.577	6.206	11,3%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	5.749	6.200	6.302	6.430	6.332	-1,5%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	763	577	742	1.064	1.077	1,2%
Aguas de mar	lts/seg	316	243	713	978	1.287	1.707	2.275	2.446	7,5%

\* Las aguas superficiales son aquellas que corren por cauces naturales como vertientes, esteros, ríos y quebradas, o se encuentran acumuladas en depósitos como lagos, lagunas, pantanos, ciénagas, y/o embalses.

\* Las aguas subterráneas son aquellas que están ocultas bajo tierra, almacenadas en acuíferos o embalses subterráneos que requieren de labores previas de exploración.

\* Las aguas adquiridas a terceros hace referencia a un contrato con terceros donde se compra el agua directamente.

\* El agua de mar corresponde a toda agua de mar que es extraída desde la costa, ésta tiene dos vías posibles, ya sea utilizada directamente en los procesos o previa desalinización.

\* Datos 2009-2011 "No Disponibles" por cambio en el formato de la encuesta.

Tabla N° 3

USO DE AGUA DE MAR EN LA MINERÍA DEL COBRE										
Año	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
Desalada	lts/seg	180	132	223	369	581	885	965	834	-13,6%
Salobre	lts/seg	136	111	490	609	706	822	1.309	1.612	23,1%
<b>TOTAL</b>	<b>lts/seg</b>	<b>316</b>	<b>243</b>	<b>713</b>	<b>978</b>	<b>1.287</b>	<b>1.707</b>	<b>2.275</b>	<b>2.446</b>	<b>7,5%</b>

\* De acuerdo a lo reportado por las empresas mineras  
 \* 2011 incluye Esperanza según reporte sustentabilidad de la empresa  
 \* 2014 actualizado según datos entregados al 2015

Tabla N°4

CONSUMO UNITARIO DE AGUA CONTINENTAL POR TONELADA DE MINERAL PROCESADO/TRATADO										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
Concentración	m3/ton_min	0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53	0,52	0,50	-4,6%
Hidrometalurgia	m3/ton_min	0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	30,9%

Tabla N° 5

CONSUMO UNITARIO DE AGUA CONTINENTAL DE ACUERDO AL TAMAÑO DE EMPRESA										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
<b>CONCENTRACIÓN</b>										
Gran Minería del Cobre	m3/ton_min	0,67	0,68	0,63	0,59	0,57	0,53	0,50	0,49	-1,4%
Mediana Minería del Cobre	m3/ton_min	0,78	0,90	0,88	0,88	0,85	0,59	0,89	0,73	-17,3%
<b>PROMEDIO PAÍS</b>		<b>0,67</b>	<b>0,69</b>	<b>0,65</b>	<b>0,61</b>	<b>0,57</b>	<b>0,53</b>	<b>0,52</b>	<b>0,50</b>	<b>-4,6%</b>
<b>HIDROMETALURGIA</b>										
Gran Minería del Cobre	m3/ton_min	0,12	0,11	0,12	0,10	0,10	0,08	0,07	0,09	30,0%
Mediana Minería del Cobre	m3/ton_min	0,11	0,19	0,24	0,10	0,06	0,15	0,25	0,27	6,8%
<b>PROMEDIO PAÍS</b>		<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,10</b>	<b>30,9%</b>



Tabla N°6

RECIRCULACIÓN DE AGUA EN LA OPERACIÓN COMPLETA										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
Agua Recirculada total	lts/seg	ND	ND	25.367	34.291	32.138	31.708	40.382	43.247	7,1%
Tasa de recirculación total promedio	%	ND	ND	68,7%	74,0%	73,0%	73,9%	72,5%	74,3%	2,5%

Tabla N°7

RECIRCULACIÓN DE AGUA EN LA CONCENTRADORA										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
Agua Recirculada en concentradora	lts/seg	14.696	18.052	20.601	21.750	20.386	21.408	25.071	23.717	-5,4%
Tasa de recirculación concentradora promedio	%	57,3%	62,9%	67,7%	68,0%	67,8%	70,3%	73,2%	71,0%	-3,0%

Tabla N°8

EXTRACCIÓN DE AGUA CONTINENTAL EN LA MINERÍA DEL COBRE POR PROCESO PRODUCTIVO Y TOTAL										
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Var 2015-2016
<b>REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA</b>										
Concentración	lts/seg	ND	ND	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA
Hidrometalurgia	lts/seg	ND	ND	ND	ND	ND	3	4	5	10,4%
Otros	lts/seg	ND	ND	ND	ND	ND	1	2	0,1	-97,4%
Fundición y Refinería	lts/seg	NA								
<b>TOTAL XV</b>	<b>lts/seg</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>-26,6%</b>
<b>REGIÓN DE TARAPACÁ</b>										
Concentración	lts/seg	997	952	887	902	905	905	905	862	-4,8%
Hidrometalurgia	lts/seg	179	189	140	170	131	163	163	107	-34,4%
Otros	lts/seg	99	273	261	289	284	273	148	160	8,0%
Fundición y Refinería	lts/seg	NA								
<b>TOTAL I</b>	<b>lts/seg</b>	<b>1.275</b>	<b>1.413</b>	<b>1.288</b>	<b>1.361</b>	<b>1.320</b>	<b>1.341</b>	<b>1.217</b>	<b>1.129</b>	<b>-7,2%</b>
<b>REGIÓN DE ANTOFAGASTA</b>										
Concentración	lts/seg	3.373	3.242	3.081	3.271	3.289	3.227	3.093	2.836	-8,3%
Hidrometalurgia	lts/seg	1.441	1.329	1.388	1.002	1.369	1.351	1.643	1.535	-6,6%
Otros	lts/seg	937	976	781	679	107	553	515	686	33,1%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	221	294	261	258	-0,9%



TOTAL II	lts/seg	5.751	5.546	5.250	4.952	4.986	5.424	5.512	5.315	-3,6%
<b>REGIÓN DE ATACAMA</b>										
Concentración	lts/seg	1.201	1.266	1.208	1.136	1.121	882	866	1.033	19,2%
Hidrometalurgia	lts/seg	153	165	168	134	158	100	70	68	-2,9%
Otros	lts/seg	296	235	260	354	95	390	151	107	-29,2%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	80	77	80	114	42,0%
<b>TOTAL III</b>	<b>lts/seg</b>	<b>1.650</b>	<b>1.667</b>	<b>1.636</b>	<b>1.624</b>	<b>1.454</b>	<b>1.449</b>	<b>1.168</b>	<b>1.322</b>	<b>13,2%</b>
<b>REGIÓN DE COQUIMBO</b>										
Concentración	lts/seg	479	794	801	903	702	886	962	1.134	17,9%
Hidrometalurgia	lts/seg	34	25	4	12	6	7	14	53	296,0%
Otros	lts/seg	21	21	153	108	377	93	170	104	-38,7%
Fundición y Refinería	lts/seg	NA								
<b>TOTAL IV</b>	<b>lts/seg</b>	<b>534</b>	<b>839</b>	<b>958</b>	<b>1.023</b>	<b>1.085</b>	<b>986</b>	<b>1.145</b>	<b>1.291</b>	<b>12,7%</b>
<b>REGIÓN DE VALPARAÍSO</b>										
Concentración	lts/seg	751	947	1.034	997	1.066	1.141	1.038	1.156	11,4%
Hidrometalurgia	lts/seg	96	NI	76	2	2	0	33	34	3,2%
Otros	lts/seg	0	147	0	76	270	218	148	63	-57,3%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	114	79	82	82	-0,4%
<b>TOTAL V</b>	<b>lts/seg</b>	<b>847</b>	<b>1.094</b>	<b>1.110</b>	<b>1.075</b>	<b>1.452</b>	<b>1.438</b>	<b>1.301</b>	<b>1.336</b>	<b>2,6%</b>
<b>REGIÓN DE O'HIGGINS</b>										
Concentración	lts/seg	1.403	1.508	1.429	1.392	1.312	1.304	1.741	1.883	8,2%
Hidrometalurgia	lts/seg	265	118	1	10	10	10	10	8	-20,0%
Otros	lts/seg	0	0	305	256	156	183	162	161	-0,9%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	150	100	100	186	85,8%
<b>TOTAL VI</b>	<b>lts/seg</b>	<b>1.668</b>	<b>1.626</b>	<b>1.735</b>	<b>1.659</b>	<b>1.628</b>	<b>1.598</b>	<b>2.013</b>	<b>2.238</b>	<b>11,1%</b>
<b>REGIÓN METROPOLITANA</b>										
Concentración	lts/seg	521	436	417	589	684	602	596	804	35,0%
Hidrometalurgia	lts/seg	16	30	1	54	75	71	70	118	69,1%
Otros	lts/seg	9	0	170	42	35	38	42	56	32,0%
Fundición y Refinería	lts/seg	NA								
<b>TOTAL RM</b>	<b>lts/seg</b>	<b>546</b>	<b>466</b>	<b>588</b>	<b>685</b>	<b>794</b>	<b>711</b>	<b>708</b>	<b>979</b>	<b>38,2%</b>



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

Camila Montes

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts

Director de Estudios y Políticas Públicas

Junio / 2016

