



Consumo de agua en la minería del cobre al 2018

DEPP 06/2019

Registro Propiedad Intelectual N° 308475

Resumen Ejecutivo

La metodología utilizada en este estudio corresponde al procesamiento de datos, clasificación y análisis de la información entregada en las encuestas del consumo de agua en faenas mineras. Para lograr esto se obtuvieron los datos referentes al consumo de agua, específicamente los datos de consumo de agua en los procesos productivos de concentración e hidrometalurgia. Una vez que se tienen todos los datos estos se agrupan por región y se analizan. Para el presente informe la muestra de las empresas consultadas en la encuesta corresponde al 99,3% de la producción de cobre nacional de 2018, específicamente 98% de la producción de cátodos SxEw y 99,8% de la producción de concentrados. Es importante destacar que, a nivel nacional, la cantidad de mineral procesado aumentó alrededor de un 7% entre 2017 y 2018.

Al analizar los consumos del año 2018, el agua de origen continental alcanzó los 13,36 m³/seg, un 0,7% mayor que el año anterior. Éste aumento se explica principalmente por el aumento de minerales de sulfuros. Por otra parte el consumo de agua de mar fue de 3,99 m³/seg y el agua recirculada fue de 44,87 m³/seg, lo que en total suma 62,22 m³/seg de agua para la minería. El consumo es liderado por la región de Antofagasta, región que produce más del 54% del cobre en Chile, seguido por la región de O'Higgins y luego Tarapacá y Atacama.

Al estudiar las extracciones de acuerdo a las fuentes de abastecimiento se observa que la mayor fuente de extracción proviene de agua de origen subterráneo, que constituye el 41%, por otro lado el agua de origen superficial alcanza el 30% del agua extraída, las de origen marino llegan al 23% y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6%.

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 es en la concentración.

Al evaluar el desempeño durante el año 2018, el consumo unitario en el proceso de concentración fue de 0,36 m³/ton mineral mientras que el consumo unitario en el proceso de hidrometalurgia fue de 0,11 m³/ton mineral.

Respecto a la recirculación de las aguas, se observa que, a nivel nacional, la tasa de recirculación en las faenas alcanzó un 72,1%, esto es un 3% más que el año anterior. En el caso de la concentradora la recuperación de las aguas en estas plantas de proceso fue de un 74,3%, una disminución cercana al 2% respecto al año anterior. 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.

Finalmente en relación al uso de agua de mar, vemos que al 2018 el agua de mar en la minería del cobre alcanzó los 3,99 m³/seg, lo que representa un 23% del agua utilizada en minería. De ellos 1,88 m³/seg corresponden a agua de mar utilizada directamente en los procesos con un alto contenido de sal, mientras que 2,12 m³/seg es de agua previamente desalinizada.



Contenido

Resumen Ejecutivo	I
Introducción	1
Capítulo 1: Esquema y metodología.....	3
Capítulo 2: Resultados	5
2.1 Consumo de agua total	5
2.2 Consumo de aguas continentales	8
2.2.1 <i>Consumo de aguas continentales por región</i>	<i>9</i>
2.3 Consumo de agua según fuente de abastecimiento	11
2.3.1 <i>Consumo de agua por región según fuente de abastecimiento.....</i>	<i>13</i>
2.4 Consumo de agua por proceso minero	15
2.4.1 <i>Consumo de agua continental por región según proceso minero.....</i>	<i>19</i>
Capítulo 3: Gestión del agua.....	21
3.1 Intensidad de uso	21
3.1.1 <i>Coefficientes unitarios por proceso</i>	<i>21</i>
3.1.2 <i>Coefficientes unitarios por región.....</i>	<i>22</i>
3.1.3 <i>Coefficientes unitarios según tamaño de minería</i>	<i>24</i>
3.1.4 <i>Make up por proceso.....</i>	<i>25</i>
3.2 Recirculación	26
3.2.1 <i>Recirculación en operaciones</i>	<i>26</i>
3.2.2 <i>Recirculación en planta concentradora.....</i>	<i>26</i>
Capítulo 4: Agua de Mar.....	28
4.1 Tendencia en el uso del agua de mar.....	28
4.2 Operaciones y nuevos proyectos mineros en carpeta	29
4.3 Desafíos con respecto a la desalinización:	32
Capítulo 5: Comentarios finales.....	34
Bibliografía	35
Anexos	36



Índice de figuras

Figura 1: Descripción etapas proceso minera en general.....	3
Figura 2: Ciclo del agua en operaciones mineras	4
Figura 3: Agua total.....	5
Figura 4: Distribución del consumo de agua total en la industria minera del cobre año 2018 (%).....	6
Figura 5: Consumo de agua total en la industria minera del cobre 2012-2017 (m3/seg)	6
Figura 6: Leyes promedio de minerales de óxidos y sulfuros a nivel nacional 2012-2018 (%).....	7
Figura 7: Mineral extraído según tipo de mineral 2012-2017 (Millones de toneladas)	7
Figura 8: Consumo de aguas continentales en la minería del cobre 2012-2018 (m3/seg)	8
Figura 9: Distribución porcentual de la producción de cobre y consumo de agua durante 2018.....	9
Figura 10: Tendencia en el consumo de aguas continentales en la minería del cobre a nivel regional 2012-2018.....	10
Figura 11: Fuentes de abastecimiento.....	11
Figura 12: Distribución porcentual de las aguas continentales según fuente de abastecimiento 2018	12
Figura 13: Evolución extracción de agua por fuente de abastecimiento 2012-2018 (m3/seg).....	13
Figura 14: Distribución porcentual del consumo de agua según fuente de abastecimiento en la minería del cobre a nivel regional 2018	14
Figura 15: Procesos mineros.....	15
Figura 16: Procesos a considerar en el informe.....	16
Figura 17: Distribución porcentual de las aguas según proceso minero 2018	17
Figura 18: Evolución consumo de agua por proceso 2012-2018 (m3/seg)	18
Figura 19: Distribución porcentual del consumo de agua según proceso en la minería del cobre a nivel regional 2018.....	19
Figura 20: Coeficientes unitarios de agua continental según proceso minero 2012-2018	22
Figura 21: Coeficientes unitarios en la minería del cobre por región 2012-2018	23
Figura 22 <i>Make up</i> por proceso año 2018.....	25
Figura 23: Tendencia en la tasa de recirculación en operaciones de la minería del cobre 2012-2018.....	26
Figura 24: Tendencia en tasa de recirculación en concentradora de la minería del cobre 2012-2018.....	27
Figura 25: Uso de agua de mar en la minería del cobre 2010-2018 (m ³ /seg)	28
Tabla 1: Coeficientes unitarios en la minería del cobre según tamaño de la operación 2012-2018.....	24
Tabla 2: Catastro plantas desaladoras y Sistemas de impulsión de agua de mar (SIAM) en la minería del cobre en operación.....	30
Tabla 3: Futuros proyectos de plantas desaladoras y Sistemas de impulsión de agua de mar (SIAM) en la minería.....	31

Introducción

Según lo declarado por Naciones Unidas, de acuerdo a estimaciones actuales, para 2030, la disminución de un 40% de los recursos de agua dulce, junto con el crecimiento de la población mundial, podría llevarnos de manera vertiginosa hacia una crisis mundial del agua (ONU, 2019). Reconociendo este creciente desafío el 2018 la Asamblea General de las Naciones Unidas inauguró el Decenio de Acción para el Agua con el fin de promover la adopción de medidas que ayuden a transformar la manera en que gestionamos este recurso.

De acuerdo a lo declarado en el Decenio de Acción para el Agua, 2018-2028, es fundamental promover el uso eficiente del agua a todos los niveles, teniendo en cuenta el nexo entre el agua, la energía, los alimentos y el medio ambiente. El Decenio tiene por objetivo hacer mayor hincapié en el desarrollo sostenible y la ordenación integrada de los recursos hídricos para lograr los objetivos sociales, económicos y ambientales, y en la ejecución y promoción de programas y proyectos conexos, así como en el fomento de la cooperación y las alianzas en todos los niveles con el fin de contribuir al logro de los objetivos y las metas sobre el agua convenidos internacionalmente (ONU, 2019).

Según los cálculos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación) los recursos existen pero si nuestra gestión del recurso hídrico sigue siendo la misma que en 2018, habrá graves crisis de escasez de agua en muchos lugares del mundo.

Asimismo, el Foro Económico Mundial clasifica la crisis del agua como uno de los tres primeros riesgos mundiales. La presión demográfica, el ritmo de desarrollo económico, la urbanización, la contaminación y la pérdida indiscriminada de agua debido a una mala gestión están ejerciendo una presión sin precedentes sobre la principal fuente de vida del planeta. Si a esto le añadimos el fuerte impacto del cambio climático y la transformación de las dietas, el resultado es que en muchas regiones ya no es posible el suministro de un servicio de agua fiable. No responder de manera efectiva a estos desafíos tendrá consecuencias devastadoras a nivel mundial, en efecto, puede haber agua para todo y para todos: pero sólo si la sabemos gestionar de forma apropiada.

Conjuntamente, de acuerdo al informe desarrollado por la Unesco en relación al agua y el empleo, se calcula que tres de cada cuatro empleos en el mundo dependen en mayor o menor medida del agua. La escasez de agua potable y los problemas de acceso a ella y al saneamiento pueden por lo tanto limitar el crecimiento económico y la creación de empleo en los próximos decenios. El Informe subraya el papel clave que desempeña el agua en la transición hacia una economía verde (ONU-Agua, 2016).

En este contexto de crisis hídrica a nivel mundial vemos que Chile no está ajeno. Según cifras de la actualización del Balance Hídrico Nacional de la Dirección General de Aguas (DGA), indican que la disponibilidad de agua ha disminuido hasta en un 37% en algunos sectores del país y las precipitaciones se han ido reduciendo gradualmente en todo el país en comparación con 1987, año en que se realizó el balance anterior. La disminución de un 37% en el suministro de agua



corresponde a la zona central del país, entre el Aconcagua y el Maule, y detalla que las precipitaciones a nivel nacional han disminuido en un 30% desde la última medición (DGA, 2017).

Por otra parte el aumento de la población y el crecimiento de las industrias más importantes del país (agricultura y minería), suponen más demanda de agua.

En este escenario de incertidumbre, y 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. El informe tiene por objetivo monitorear el uso de agua en los distintos procesos de la minería del cobre, aumentar la disponibilidad y transparencia de información del sector en temas críticos y servir como base para el análisis de las discusiones públicas.

La industria minera se enfrenta a tres riesgos estratégicos a largo plazo en relación con el agua; primero 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.

El alcance de este análisis comprende las empresas productoras de cobre entre las regiones centro norte del país, desde la región de Arica y Parinacota, hasta la región de O'Higgins, en donde se desarrolla la mayor actividad cuprífera.

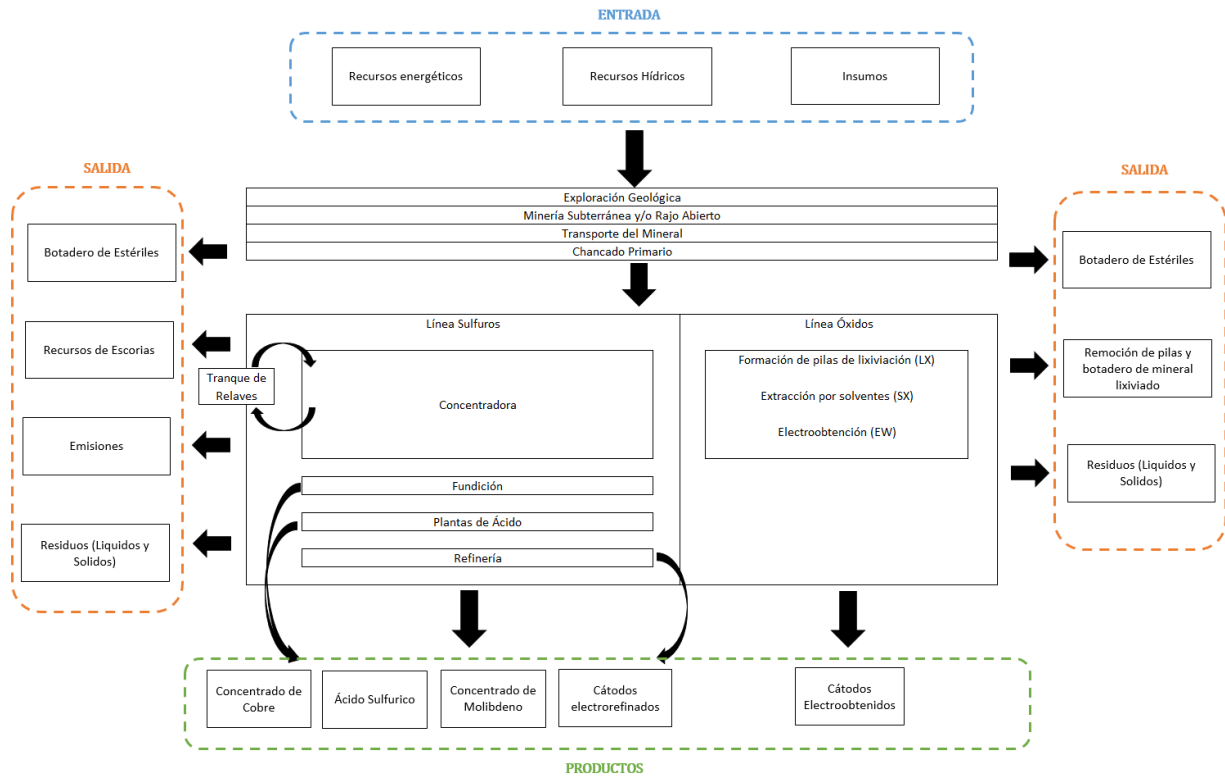
Para el presente informe la muestra de las empresas consultadas en la encuesta corresponde al 99,3% de la producción de cobre nacional de 2018, específicamente 98% de la producción de cátodos SxEw y 99,8% de la producción de concentrados.



Capítulo 1: Esquema y metodología

La industria minera requiere del recurso hídrico para el procesamiento de los minerales, para ello la minería utiliza el agua en una serie de actividades que incluyen el procesamiento de minerales y sus servicios anexos. La utilización de agua en el proceso minero es descrita brevemente en la figura 1.

Figura 1: Descripción etapas proceso minera en general



Fuente: Cochilco

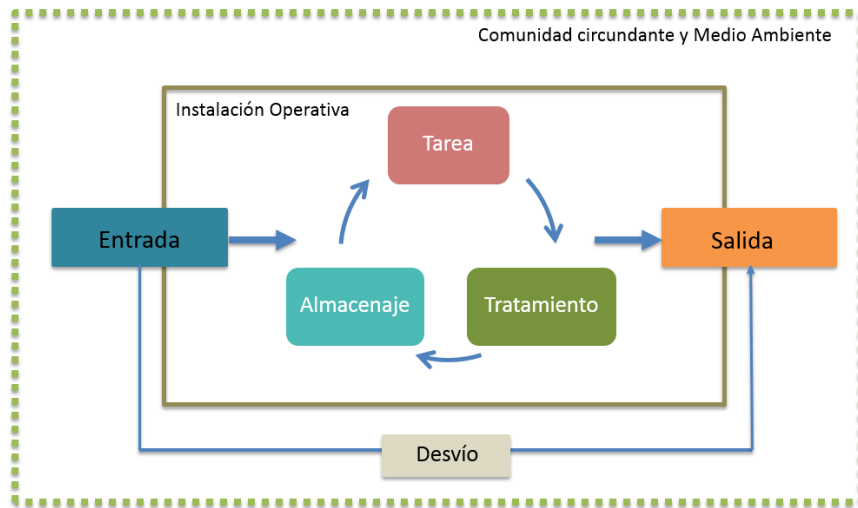
La información se estructura considerando los distintos procesos involucrados en la producción de cobre en el país. Cada uno de estos puntos representa un centro de consumo de agua, unos más intensivos que otros, pero que a fin de cuentas requieren del recurso hídrico para realizar su tarea.

Este enfoque incluye la definición de un conjunto de parámetros normalizados para la presentación de informes sobre el agua por parte de la industria minera y metalúrgica, con base en el *Water Accounting Framework (WAF)* elaborado en la Universidad de Queensland, Australia.

Este modelo de entrada-salida, descrito en la figura 2, proporciona un enfoque coherente para cuantificar los flujos que entran y salen basado en sus fuentes, y por otra parte el modelo operacional proporciona orientación para los procesos de agua dentro de sus operaciones.



Figura 2: Ciclo del agua en operaciones mineras



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

De acuerdo a la guía de ICMM del año 2017 se describen los cuatro parámetros normalizados referentes al agua a nivel de explotación. Estos parámetros ilustran el desempeño de una explotación en lo que concierne al agua y, tras su compilación a nivel de la empresa, constituyen la base para la presentación de informes sobre el agua de cara al exterior. (ICMM , 2017)

- **Extracción:** volumen de agua que obtiene la explotación o la instalación operativa del entorno hídrico y/o de un proveedor externo.
- **Vertido:** volumen de agua retirado de la explotación o instalación operativa y evacuado al entorno hídrico y/o a un proveedor externo.
- **Eficiencia:** describe la proporción de agua reutilizada y reciclada por la explotación con objetivo de reducir la demanda global de agua con fines de consumo.
- **Consumo:** describe el volumen de agua utilizado por la explotación y que no se devuelve al entorno hídrico ni a terceros.

La metodología utilizada en este estudio corresponde al procesamiento de datos, clasificación y breve análisis de la información entregada en las encuestas del consumo de agua en faenas mineras¹. Para lograr esto se obtuvieron los datos referentes al consumo de agua, específicamente los datos de consumo de agua fresca en los procesos productivos de concentración e hidrometalurgia. Una vez que se tienen todos los datos estos se agruparon por región y se analizaron².

¹ La información provista por las empresas mineras tiene carácter reservado, por lo que los resultados se muestran de manera global.

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



Capítulo 2: Resultados

2.1 Consumo de agua total

A grandes rasgos existen tres fuentes de origen 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 del continente, alejados de las zonas costeras. Algunas aguas continentales son ríos, lagos, llanuras de inundación, reservas y humedales entre otros. 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.

Figura 3: Agua total



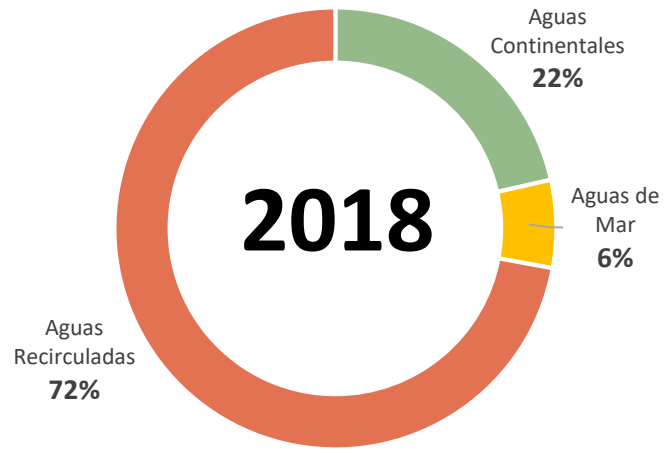
Fuente: Cochilco



Al analizar el año 2018, se observa que el agua de origen continental alcanzó los 13,36 m³/seg (22%), por su parte el agua de mar tuvo un incremento y llegó a los 3,99 m³/seg (6%) y el agua recirculada fue de 44,87 m³/seg (72%), lo que en total suma 62,22 m³/seg de agua para la minería (ver figura 4).

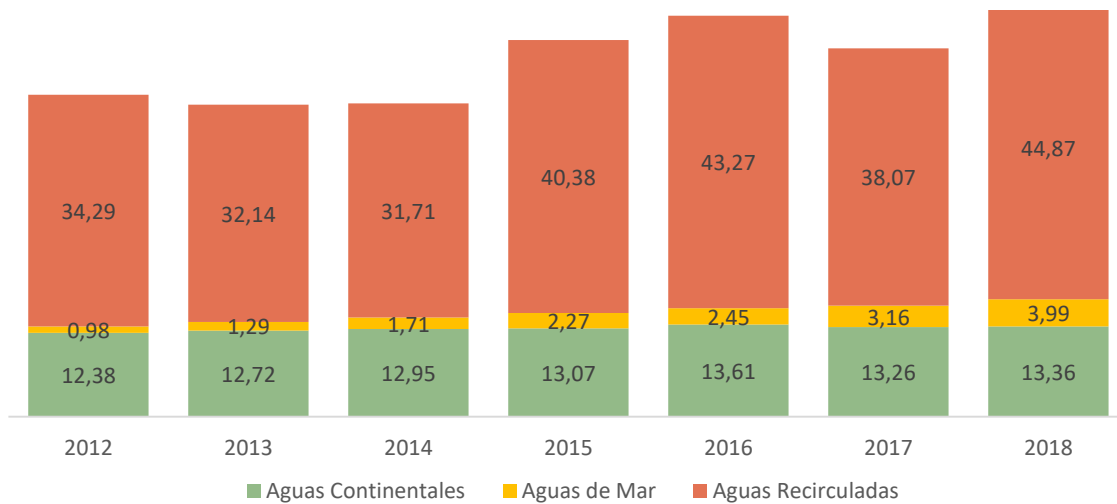
En la figura 5, al analizar la tendencia de los consumos globales en la minería, podemos ver que el agua continental se mantiene estable en los últimos años, en el agua de mar se observa una tendencia al alza, mientras que el agua recirculada mantiene variaciones año a año.

Figura 4: Distribución del consumo de agua total en la industria minera del cobre año 2018 (%)



Fuente: Cochilco

Figura 5: Consumo de agua total en la industria minera del cobre 2012-2017 (m3/seg)



Fuente: Cochilco

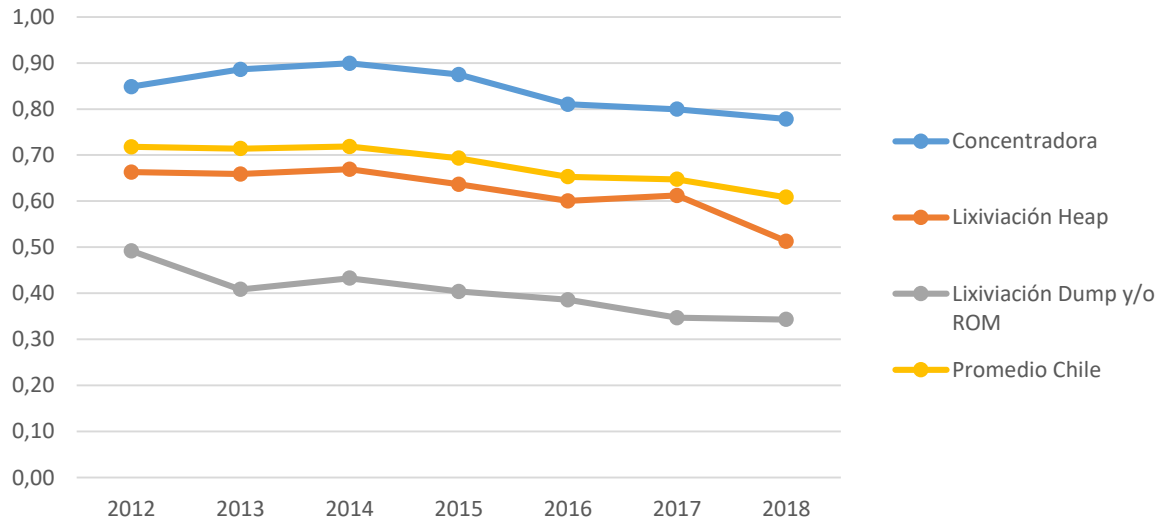
En este último punto se debe recalcar la dificultad en la correcta mediación de este flujo por dos factores, en primer lugar existe dificultad en su precisión por los instrumentos de medición y por otra parte existen diferencias en la definición de la recirculación, por lo que en los últimos años a pesar de los esfuerzos por consensuar una definición común, se han visto mediciones diferentes entre empresas para un mismo concepto. El mayor aumento de agua recirculada durante el 2018 comparado el año anterior se dio en las regiones de Antofagasta, donde la cantidad de agua recirculada en la faena completa aumentó en un 40%, principalmente por tres grandes operaciones de la región que reportan una cantidad mayor a la indicada el año anterior.



Tendencia en el mineral tratado y leyes 2012- 2018

La figura 6 muestra la evolución de las leyes de los minerales, donde se observa una tendencia sostenida a la baja en los últimos años, lo que hace necesario el procesamiento de una mayor cantidad de mineral para obtener la misma cantidad de cobre fino.

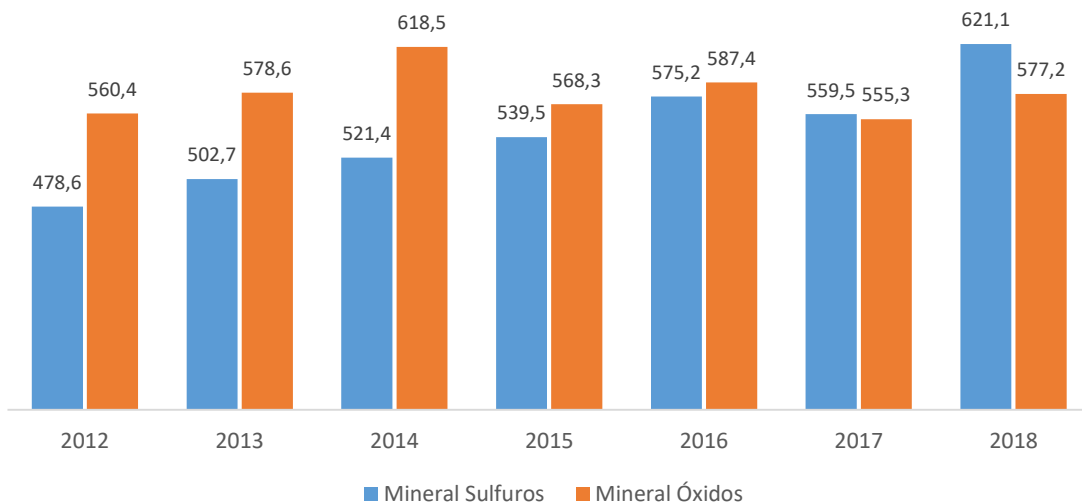
Figura 6: Leyes promedio de minerales de óxidos y sulfuros a nivel nacional 2012-2018 (%)



Fuente: Cochilco

Por su parte, la figura 7 se observa la cantidad de mineral extraído por tipo de mineral.

Figura 7: Mineral extraído según tipo de mineral 2012-2017 (Millones de toneladas)



Fuente: Cochilco



Es importante destacar que, a nivel nacional, la cantidad de mineral procesado aumentó alrededor de un 7% entre 2017 y 2018, mientras que el consumo de agua continental sólo aumentó en un 0,7%, por lo tanto la magnitud de dicho aumento no es directamente proporcional a la cantidad de mineral procesado al existir eficiencias en el uso del recurso.

Una menor ley 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 la adecuada administración y uso del agua afecta directamente en la cantidad de agua utilizada para el proceso, independiente de donde provenga el agua, es necesario utilizarla de la mejor manera para optimizar su uso.

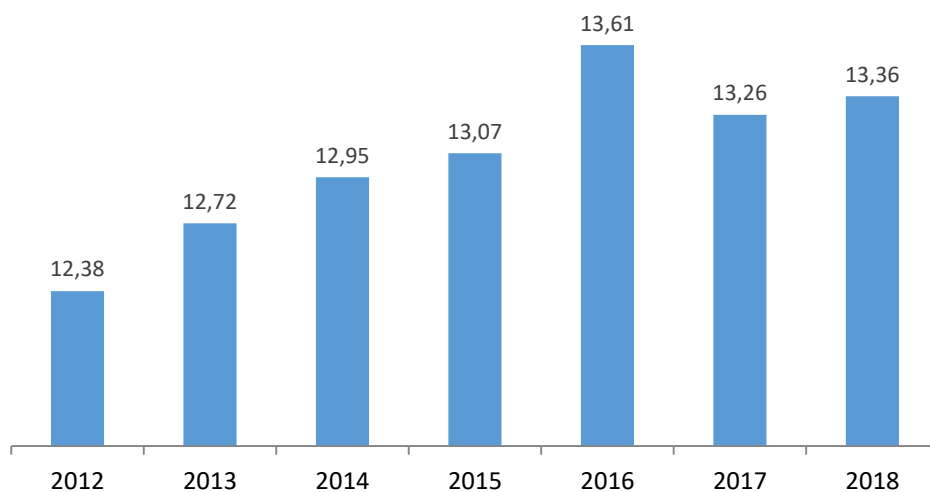
Debemos tener en consideración que los minerales sulfurados se tratan típicamente mediante el proceso de concentración, el cual es el más intensivo en el uso de agua, como se verá en los capítulos siguientes.

En general, los minerales con mayor nivel de leyes requieren menos agua para el procesamiento y viceversa. Con el agotamiento de los recursos, la explotación de minerales de baja ley va en aumento, lo que generará un aumento en la demanda de agua si se mantienen las mismas condiciones.

2.2 Consumo de aguas continentales

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. Al año 2018 la cantidad de agua continental utilizada por la minería del cobre alcanzó los 13,36 m³/seg, un 0,7% mayor que el año anterior. Éste aumento se explica principalmente por el aumento de minerales de sulfuro.

Figura 8: Consumo de aguas continentales en la minería del cobre 2012-2018 (m³/seg)



Fuente: Cochilco

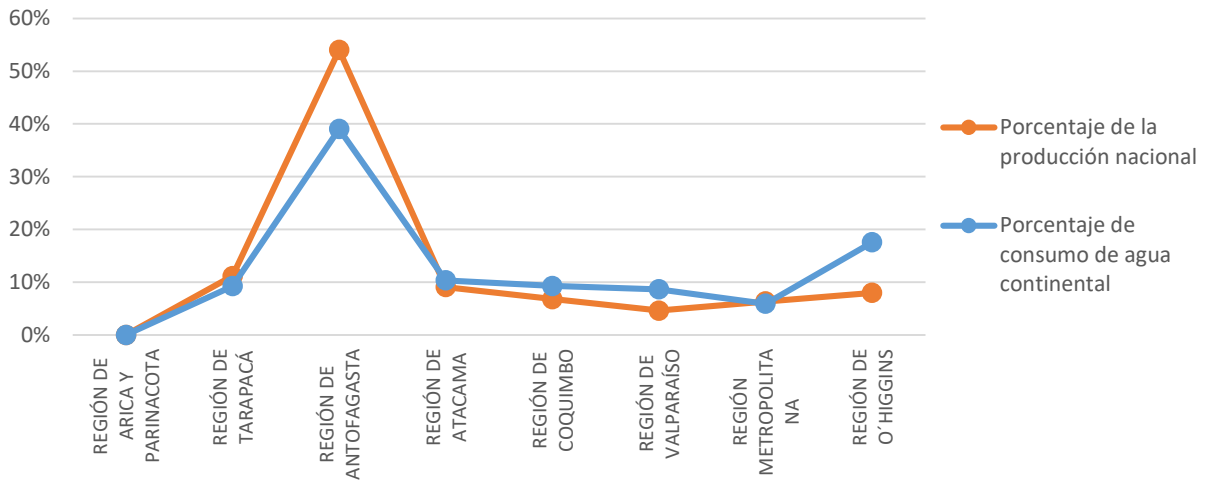
2.2.1 Consumo de aguas continentales por región

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 necesario 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 consuntiva³, 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.

La figura 9 muestra la distribución porcentual de la producción de cobre y la distribución porcentual del consumo de agua continental. Mientras la región de Antofagasta representa el 54% de la producción de cobre a nivel nacional, su consumo de agua continental representa cerca de un 40%.

Figura 9: Distribución porcentual de la producción de cobre y consumo de agua durante 2018



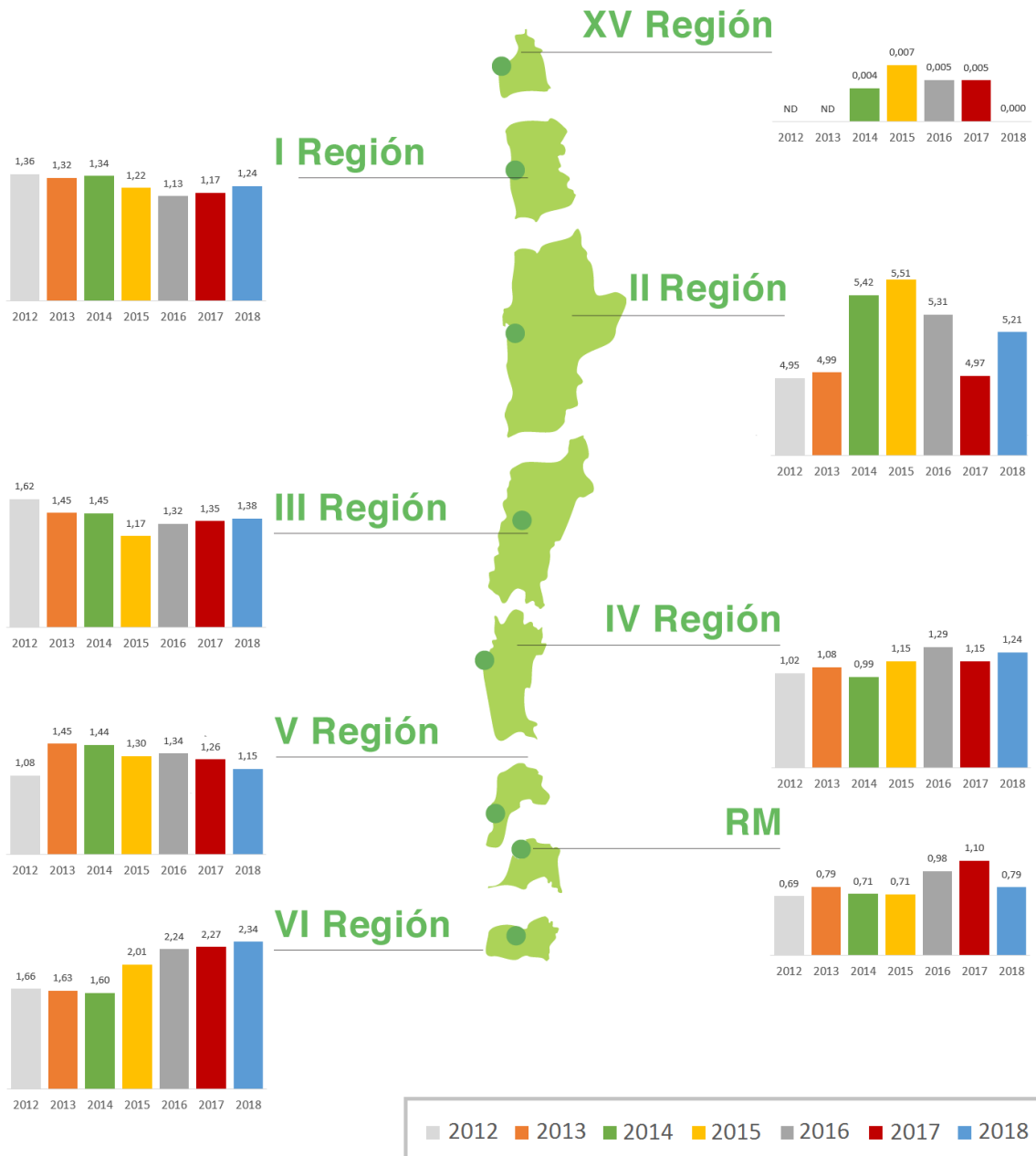
Fuente: Cochilco

A continuación, por su parte, la figura 10 muestra la tendencia en el consumo de aguas continentales a nivel regional. El consumo es liderado por la región de Antofagasta, seguido por la región de O'Higgins, y luego Tarapacá y Atacama. En este sentido es importante destacar la que la región de Valparaíso y Metropolitana, las cuales registran una sequía importante durante los últimos años, presentaron una disminución de 9% y al 28% en relación al año anterior respectivamente.

³ De acuerdo a los datos entregados por la Dirección General de Aguas en su informe "Atlas del Agua", la minería representa un 3% del consumo de agua a nivel nacional.



Figura 10: Tendencia en el consumo de aguas continentales en la minería del cobre a nivel regional 2012-2018



Fuente: Cochilco



2.3 Consumo de agua según fuente de abastecimiento

A continuación se presenta una breve descripción de las fuentes de abastecimiento de agua para la industria minera.

Figura 11: Fuentes de abastecimiento

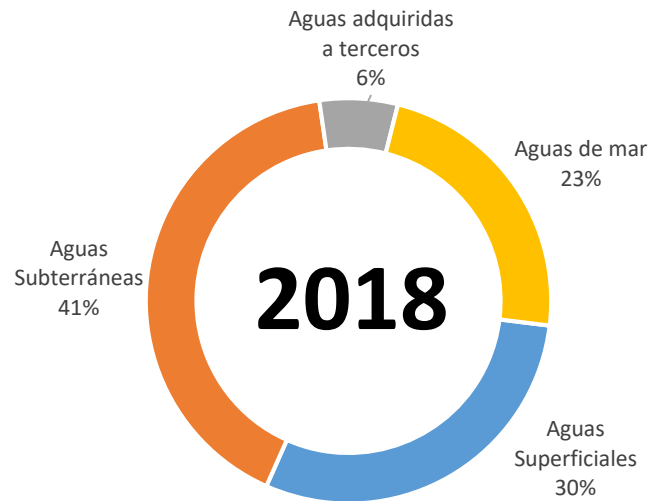


Fuente: Cochilco



A nivel nacional, para el año 2018, la mayor fuente de extracción proviene de agua de origen subterráneo, constituyendo el 41% de las extracciones, por otro lado el agua de origen superficial alcanza el 30% del agua extraída, las de origen marino llegan al 23% y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6%.

Figura 12: Distribución porcentual de las aguas continentales según fuente de abastecimiento 2018



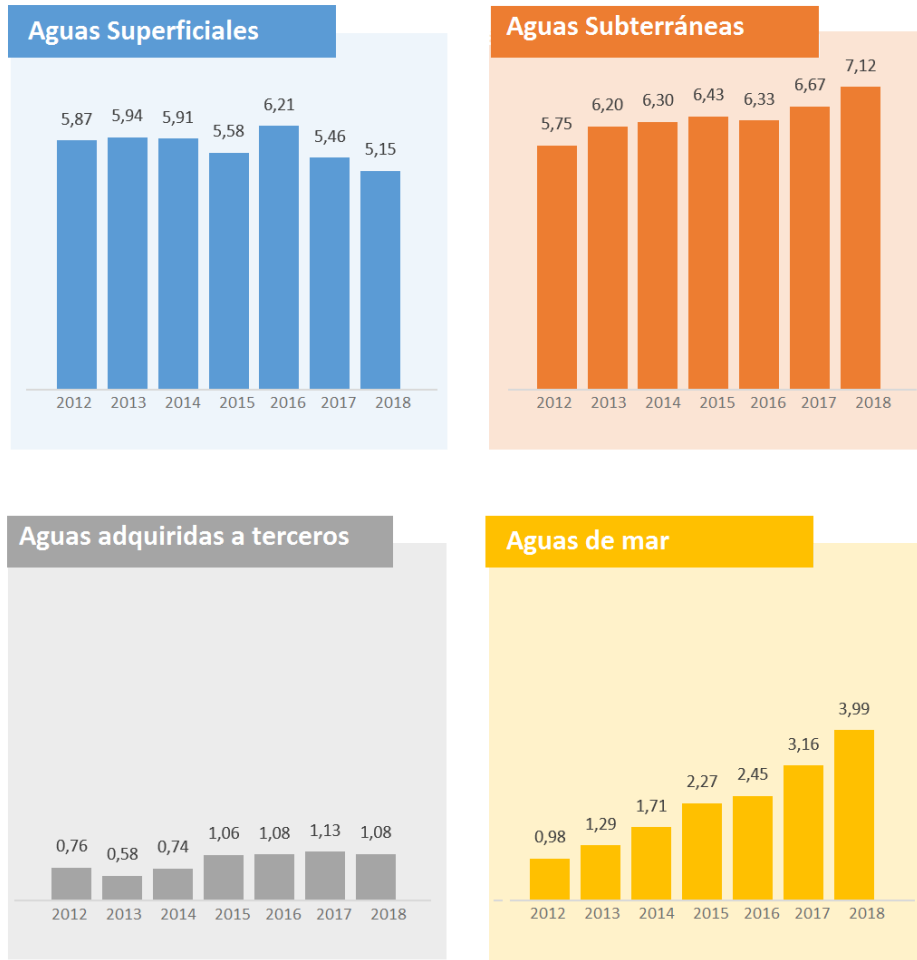
Fuente: Cochilco

Conocer las variaciones en las fuentes de origen del agua para la minería del cobre resulta elemental para gestionar los recursos hídricos. Resulta interesante analizar la evolución en los últimos años de las fuentes de abastecimiento, donde particularmente las aguas de mar han tenido un aumento considerable año a año y, siguiendo la tendencia pero en menor medida las aguas subterráneas, también han manteniendo una tendencia al alza, mientras que las agua de origen superficial han disminuido poco a poco, esto principalmente por la escasez del recurso que vivimos a nivel nacional.

La figura 13 muestra la tendencia en el consumo de agua según fuente de origen en la minería del cobre desde el año 2012 al 2018. Se observa que históricamente las aguas subterráneas han sido la mayor fuente de abastecimiento.



Figura 13: Evolución extracción de agua por fuente de abastecimiento 2012-2018 (m3/seg)



Fuente: Cochilco

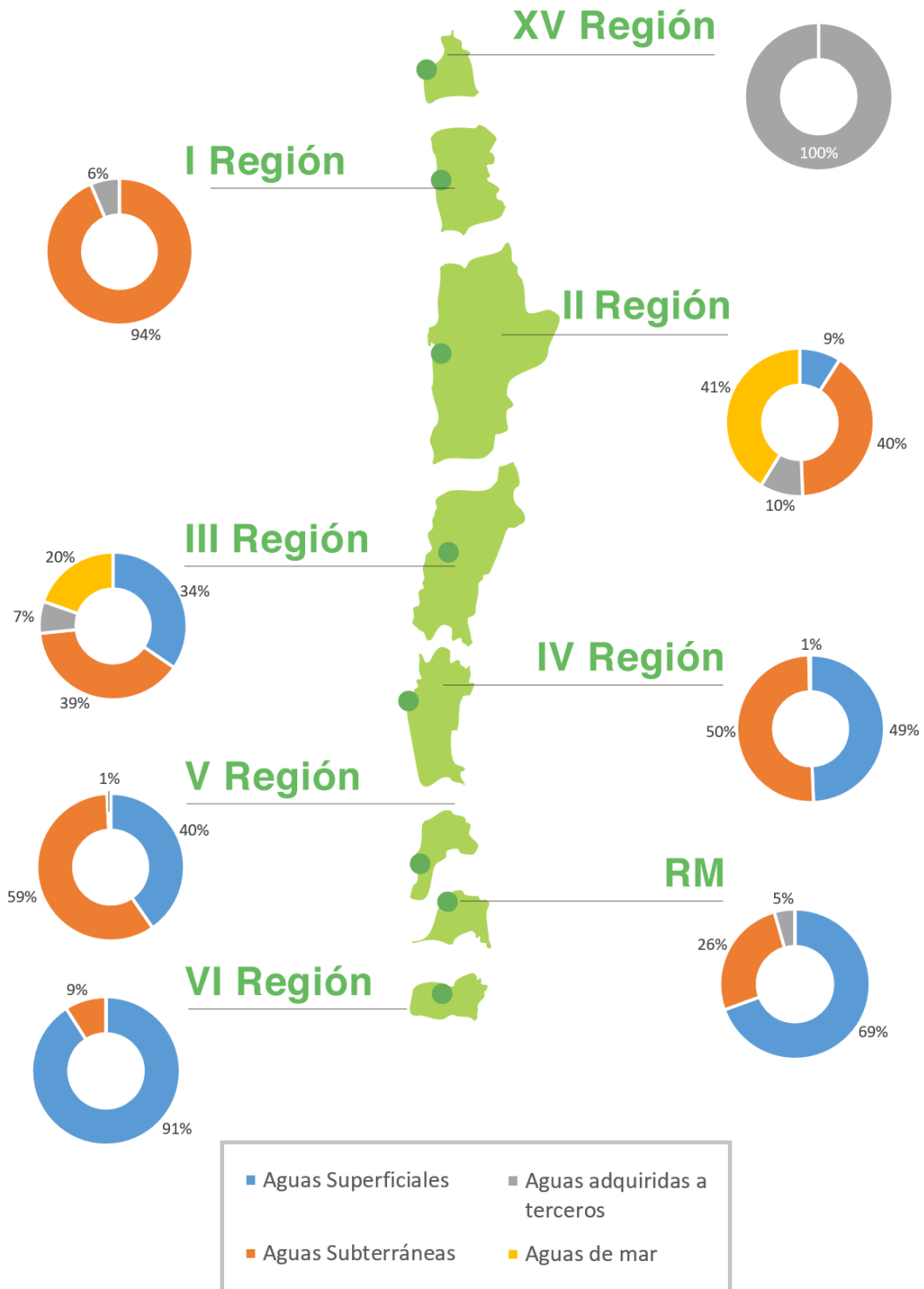
2.3.1 Consumo de agua por región según fuente de abastecimiento

En la figura 14 se observa la distribución porcentual según fuente de abastecimiento en cada región para el año 2018. 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.

Esta realidad se condice con la disponibilidad de recursos hídricos características de cada zona, dicha información permite gestionar y generar políticas orientadas a un mejor uso de los recursos según las necesidades de cada región.



Figura 14: Distribución porcentual del consumo de agua según fuente de abastecimiento en la minería del cobre a nivel regional 2018

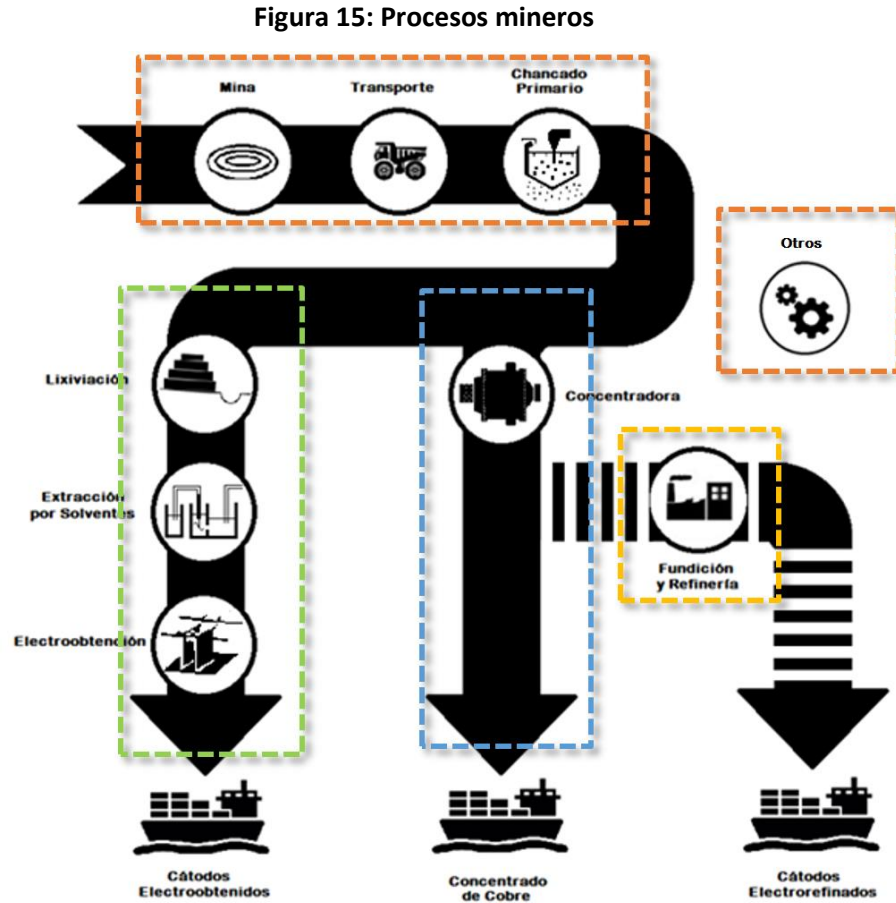


Fuente: Cochilco



2.4 Consumo de agua por proceso minero

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 bajo la definición de “Otros”, se agrupan todas aquellas actividades con volúmenes de consumo de agua poco significativos frente al total consumido en una operación minera principalmente para abastecer los servicios. El principal uso del agua es para bebida, cocción, lavado, riego y baños en los campamentos, y otros consumos menores.

En los informes anteriores, dada la disponibilidad de la información, se agrupaban en cuatro grandes procesos; concentración, hidrometalurgia, área fundición y refinería, y finalmente el ítem otros, que abarca el área mina y los servicios. A partir de este año hemos desagregado la información en más procesos, dejando el área mina, concentración, hidrometalurgia, fundición y refinería, servicios/otros y la cesión o venta a terceros.

Figura 16: Procesos a considerar en el informe

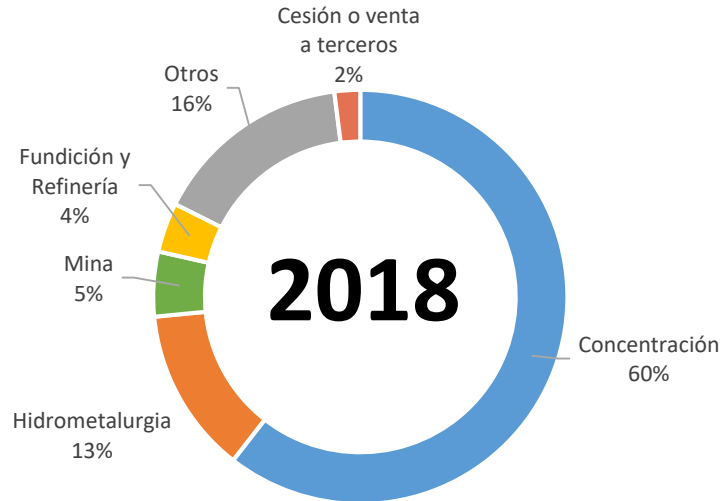


Fuente: Cochilco



De los 13,36 m³/seg de aguas continentales utilizados en la minería del cobre durante el 2018, estos se pueden clasificar de acuerdo a los procesos mineros a los que son destinadas el uso del agua, según se presenta a continuación.

Figura 17: Distribución porcentual de las aguas según proceso minero 2018



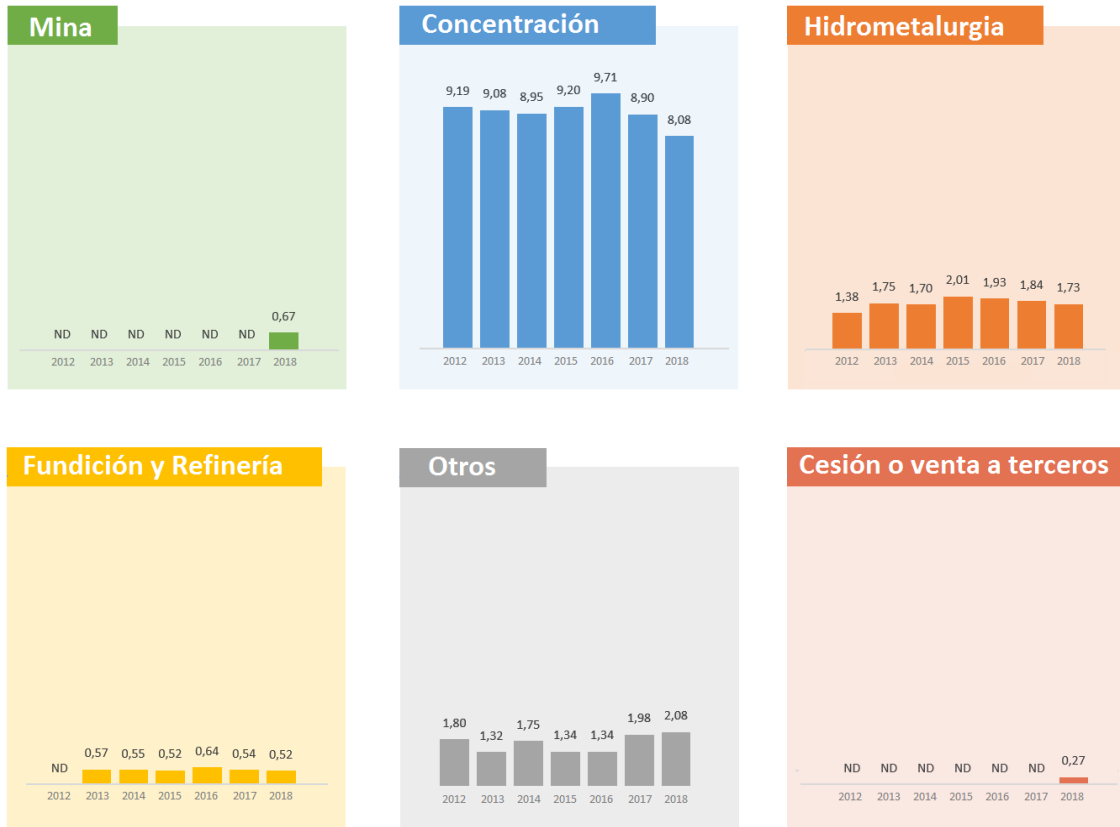
Fuente: Cochilco

Durante el 2018, el principal consumo de agua en la minería del cobre fue en el proceso de concentración de minerales sulfurados para la obtención de concentrados, el cual representa el 60% de las aguas continentales utilizadas en la minería del cobre. Le sigue el ítem otros o servicios varios, que durante el 2018 llegó a representar el 16%, en este punto se contabilizan las aguas utilizadas en campamentos, para riego, y otros procesos de menor consumo de agua. En tercer lugar se ubica el proceso de hidrometalurgia para la obtención de cátodos a partir de minerales oxidados, este proceso alcanzó el 13% del total de aguas continentales.

Por otra parte está el área mina que alcanzó el 5% y finalmente el área de fundición y refinería representa el 4% del consumo de aguas continentales.



Figura 18: Evolución consumo de agua por proceso 2012-2018 (m3/seg)



Fuente: Cochilco

De acuerdo a la figura 18, al analizar la variación anual 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.

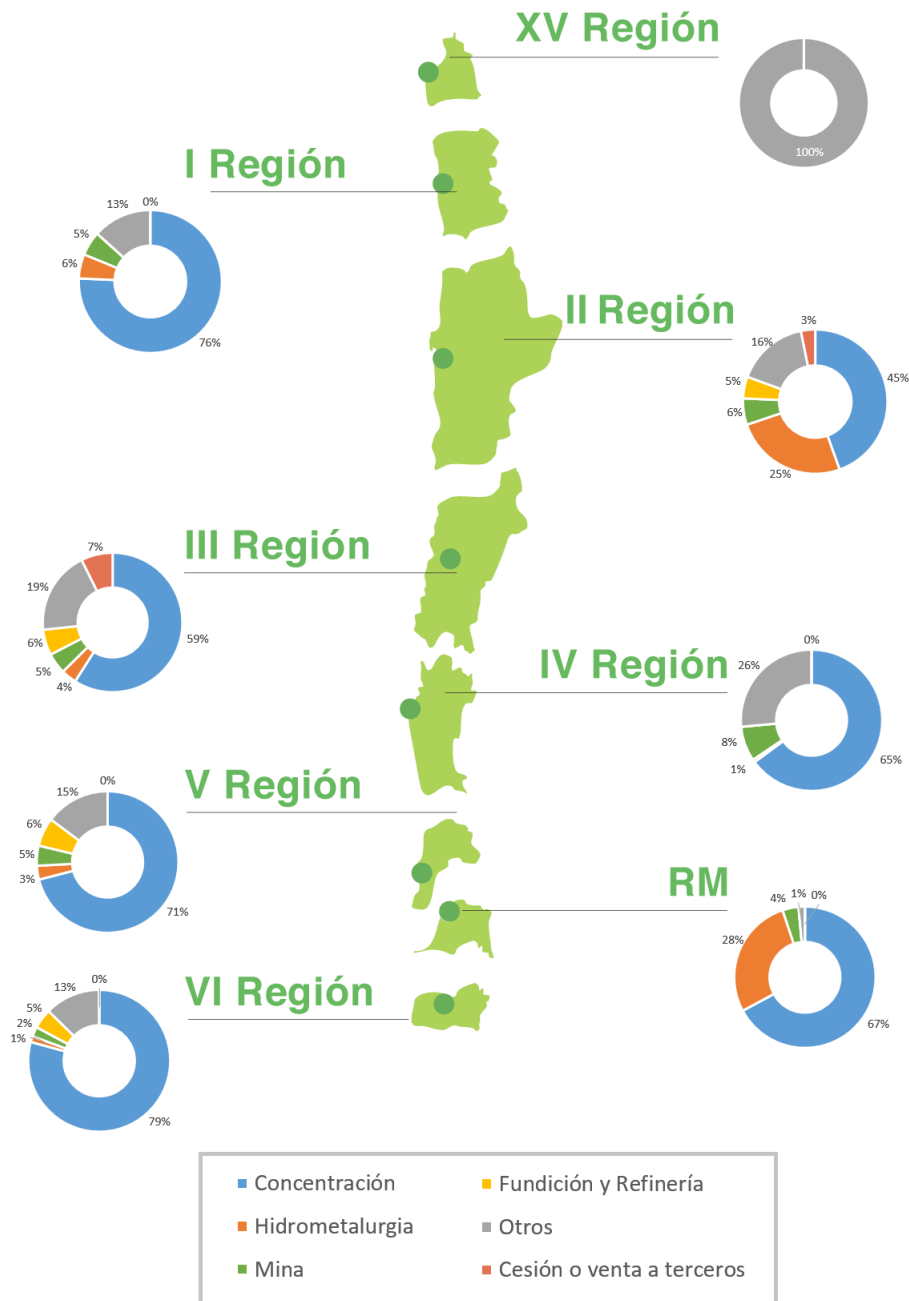
Cada proceso presenta consumos unitarios de agua distintos por diversos factores. En la actualidad se utilizan muchas técnicas para minimizar el consumo y recircular la mayor cantidad de agua posible, de manera de reducir la cantidad de agua continental. Sin embargo hay pérdidas que, si bien han disminuido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



2.4.1 Consumo de agua continental por región según proceso minero

Como parte del análisis de consumo de agua, es necesario analizar que procesos son más influyentes a nivel regional.

Figura 19: Distribución porcentual del consumo de agua según proceso en la minería del cobre a nivel regional 2018



Fuente: Cochilco



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 es en la concentración.

En la región de Antofagasta el consumo de agua continental en el proceso de concentración representa el 45%, mientras la hidrometalurgia abarca el 25% del uso de aguas continentales, sin embargo en el resto de las regiones el uso de agua continental destinado al proceso de concentración supera el 60%, alcanzando incluso el 80% en algunas regiones.

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.



Capítulo 3: Gestión del agua

La gestión del agua de una empresa es parte importante de cualquier programa de sustentabilidad, esta comprende desde la localización, transporte, desvío, almacenamiento, reutilización y/o tratamiento de toda el agua asociada con la operación de la mina y plantas, independientemente de su uso y fuente u origen, tanto por temporada como durante todo el ciclo de vida de una mina.

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. Los coeficientes unitarios son analizados a nivel de proceso, a nivel regional y según tamaño de la empresa. 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.

La gestión del agua a través de indicadores nos permite:

- ✓ medir y gestionar. Según la ONU los indicadores constituyen un facilitadores del proceso de toma de decisiones. Ellos pueden ayudar a medir y calibrar el progreso hacia las metas de desarrollo sostenible. Al mismo tiempo pueden constituirse en verdaderas señales de alerta que prevengan daños económicos, sociales y ambientales.
- ✓ éstos son una herramienta útil para la creación de políticas públicas, ya que son capaces de resumir, concentrar y condensar la enorme complejidad que existe en nuestro ambiente dinámico, en una cantidad de información manejable, cuantificable, simplificada y comunicable.

3.1 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 recurso a través de la maximización del valor de sus usos, para así mejorar su asignación entre las diferentes formas de utilización, a fin de obtener un uso más eficiente.

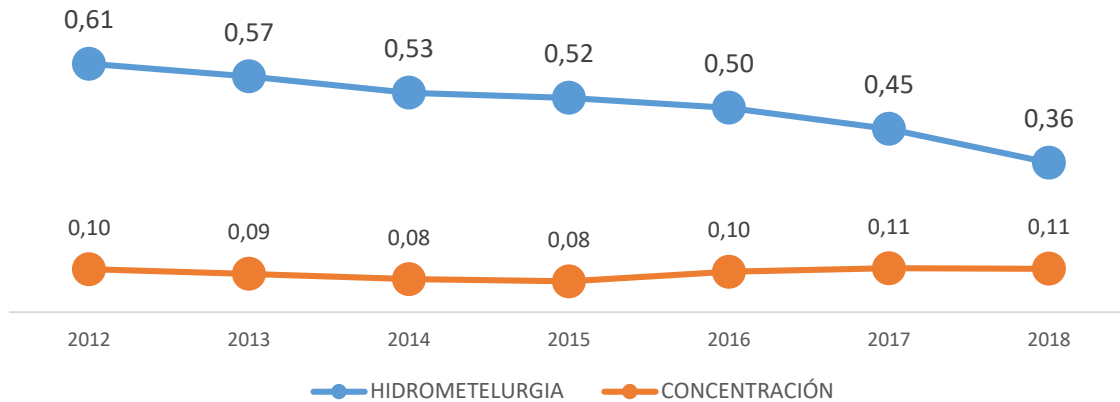
3.1.1 Coeficientes unitarios por proceso

En la figura 20 se observan los coeficientes unitarios por proceso, 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.

Durante el año 2018 el consumo unitario en el proceso de concentración fue de 0,36 m³/ton mineral mientras que el consumo unitario en el proceso de hidrometalurgia fue de 0,11 m³/ton mineral.



Figura 20: Coeficientes unitarios de agua continental según proceso minero 2012-2018



Fuente: Cochilco

En el caso de la concentración, se aprecia una fuerte disminución en el coeficiente unitario, esto se debe principalmente a que, si bien la cantidad de mineral procesado en general ha aumentado, el consumo de agua continental no lo ha hecho en la misma medida. Es decir para procesar una tonelada de mineral de sulfuros se necesita menos agua que el año anterior, junto con ello el consumo de agua de mar presenta un aumento, por lo que la necesidad de agua continental ha sido reemplazada por una cantidad de agua de mar.

Para el caso de la línea hidrometalúrgica el aumento en el coeficiente unitario a nivel nacional se debe principalmente al aumento del mineral tratado en las plantas de menor tamaño. De esta forma, en las plantas de menor tamaño, el mineral tratado aumentó, pero los consumos de agua aumentaron en mayor medida, provocando un leve aumento en el consumo unitario. En los casos de plantas de mayor tamaño el mineral tratado disminuyó, pero el consumo de agua se mantuvo al mismo nivel.

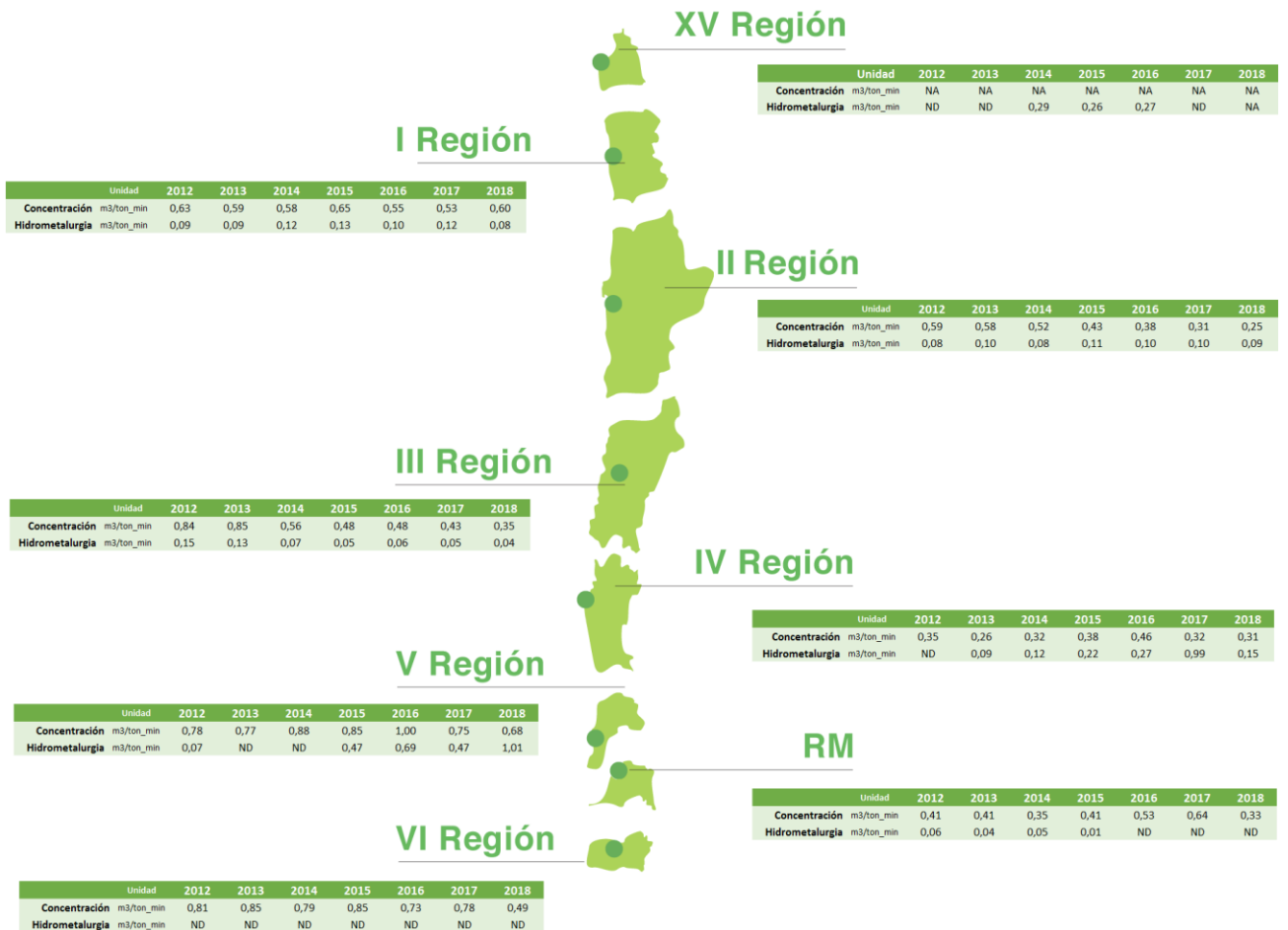
3.1.2 Coeficientes unitarios por región

La figura 21 muestra la variación de los coeficientes unitarios de acuerdo a la región de consumo, donde se observa una constante mejora en la región de Antofagasta y Atacama, principalmente por el uso de agua desalinizada, y en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins por mejoras en el uso del recurso. Es importante destacar la eficiencia alcanzada en la región de Antofagasta, llegando a los 0,25 m³/ton de mineral procesado en concentradora, por debajo del promedio nacional, esta es la región con mayor representatividad de la producción de cobre. Al mismo tiempo destacamos la eficiencia de la región de Coquimbo, que alcanzó los 0,31 m³/ton de mineral procesado en concentradora, siendo una de las regiones con graves sequías en los últimos años.



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, manteniendo el mejor rendimiento a nivel nacional. Esto principalmente por el uso de agua de mar para la lixiviación.

Figura 21: Coeficientes unitarios en la minería del cobre por región 2012-2018



Fuente: Cochilco



3.1.3 Coeficientes unitarios según tamaño de minería

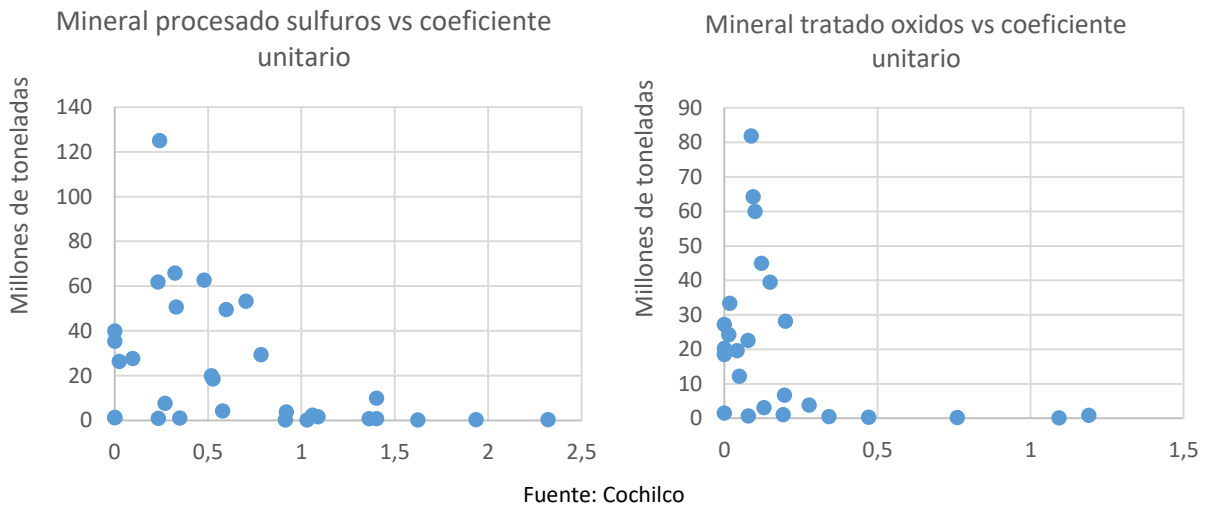
Para este análisis consideramos gran minería del cobre como aquellas operaciones que procesan una cantidad mayor o igual a 8.000 tpd (producción mayor a 50.000 toneladas de cobre fino al año), y mediana minería como aquellas que estén por debajo de ese umbral. La pequeña minería se cuantifica a través de Enami, por lo cual es imposible individualizarla como tal.

El tamaño puede afectar la eficiencia en el uso del recurso, como se observa en la tabla 1 de los coeficientes unitarios de agua continental por mineral procesado para cada proceso según la escala de producción.

Tabla 1: Coeficientes unitarios en la minería del cobre según tamaño de la operación 2012-2018

CONCENTRACIÓN	Unidad	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
GRAN MINERÍA	m3/ton_min	0,59	0,57	0,53	0,50	0,49	0,44	0,36
MEDIANA MINERÍA	m3/ton_min	0,88	0,85	0,59	0,89	0,73	0,65	0,40

HIDROMETELURGIA	Unidad	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
GRAN MINERÍA	m3/ton_min	0,10	0,10	0,08	0,07	0,09	0,10	0,10
MEDIANA MINERÍA	m3/ton_min	0,10	0,06	0,15	0,25	0,27	0,25	0,40



Con estos resultados generales podríamos 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.

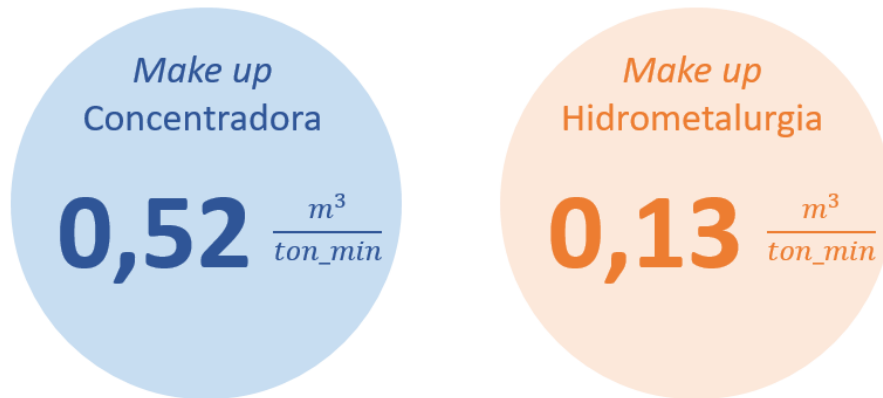
Sin embargo, es importante rescatar el uso de agua de mar en algunas operaciones de mediana minería para la obtención de cátodos, lo que permite un uso eficiente de los recursos hídricos.



3.1.4 Make up por proceso

El *make up* indica la eficiencia del proceso en materia de recursos hídricos **independiente** de donde provenga el agua, es decir considera la cantidad de agua que debe entrar el proceso, sin considerar la recirculación para procesar una tonelada de mineral.

Figura 22 Make up por proceso año 2018



Fuente: Cochilco

En efecto, el *make up* en los procesos de concentración es mayor que en los procesos de hidrometalurgia, siendo éste 4 veces superior.

El concepto existe en la industria pero no había sido catastrado por Cochilco, ya que se le da un mayor enfoque al uso de agua de origen continental, sin embargo, dada la importancia que ha tomada el uso de agua de mar en la industria minera, se ha considerado comenzar a incluir este indicador a partir del 2018 para reflejar la eficiencia en los procesos.



3.2 Recirculación

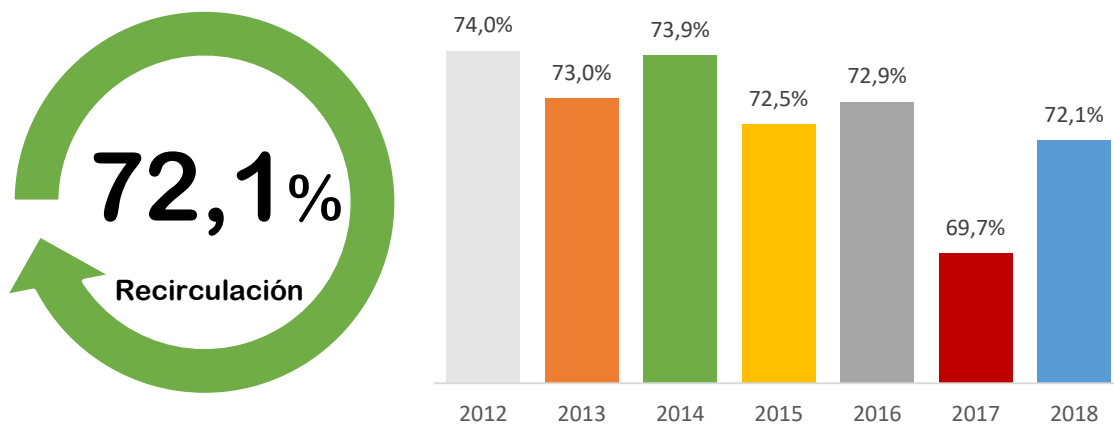
La recirculación es clave en la gestión de los recursos hídricos en la minería del cobre, los excedentes de agua pueden ser reutilizados dentro de un mismo proceso, en etapas diferentes, o enviadas desde y hacia procesos distintos, de acuerdo a los requerimientos de calidad y cantidad de cada uno de 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.

3.2.1 Recirculación en operaciones

A nivel nacional la tasa de recirculación en las faenas es de un 72,1%, ponderado según la producción de cada región. Éste 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 23: Tendencia en la tasa de recirculación en operaciones de la minería del cobre 2012-2018



Fuente: Cochilco

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.

3.2.2 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.

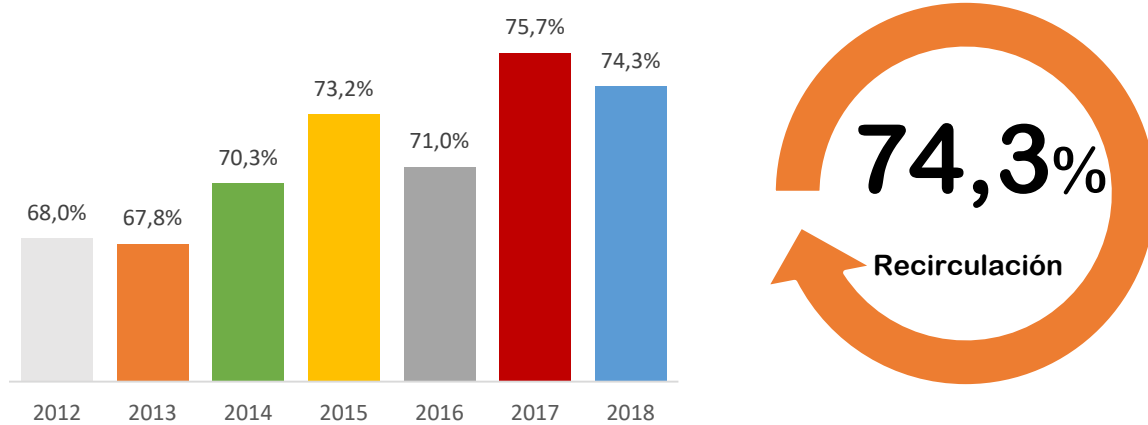
En el caso de la concentradora la recuperación de las aguas debe ser maximizada para minimizar el consumo de aguas continentales y disminuir la cantidad de descarga. Al ser un proceso muy



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 74,3%, una disminución cercana al 2% respecto al año anterior.

Figura 24: Tendencia en tasa de recirculación en concentradora de la minería del cobre 2012-2018



Fuente: Cochilco

La región de Coquimbo es la que tiene mayor tasa de recirculación en la planta concentradora con un 84,9%, seguido por la región de Atacama con un 79,5%.



Capítulo 4: Agua de Mar

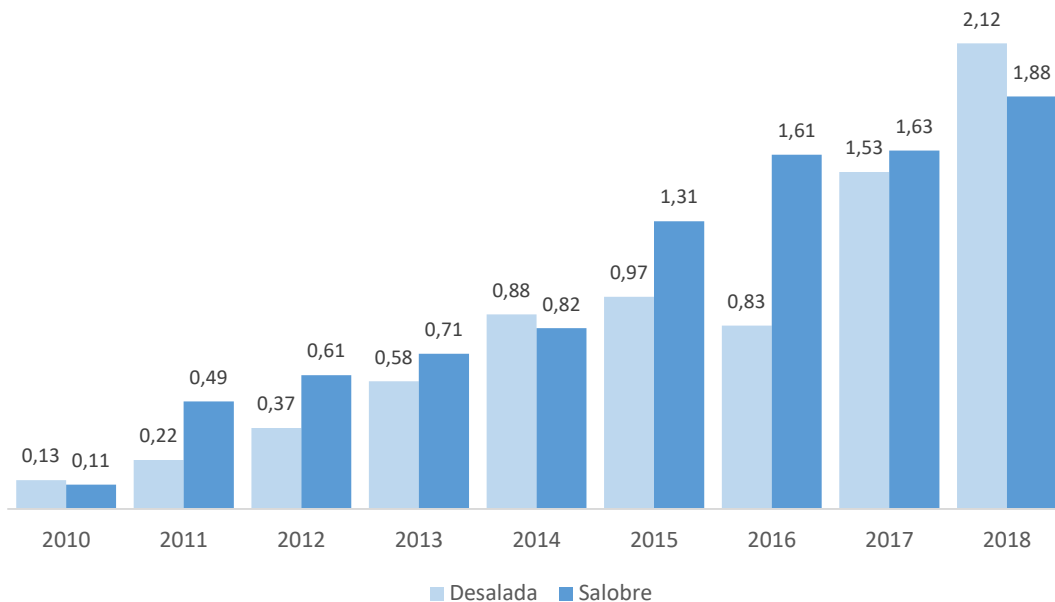
4.1 Tendencia en el uso del agua de mar

Existe una fuerte presión sobre la cantidad y calidad de los cursos de agua naturales, 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.

La figura 25 muestra la evolución del consumo de agua de mar en la minería del cobre desde el año 2010 al 2018, con una tasa de crecimiento promedio anual del orden de 48%.

Figura 25: Uso de agua de mar en la minería del cobre 2010-2018 (m³/seg)



Fuente: Cochilco



Al 2018 el agua de mar en la minería del cobre alcanzó los 3,99 m³/seg, que representa un 23% del agua utilizada en minería, de ellos 1,88 m³/seg corresponden a agua de mar utilizada directamente en los procesos con un alto contenido de sal, mientras que 2,12 m³/seg es de agua previamente desalinizada.

Al utilizar agua desalinizada o agua directa de mar se liberan recursos de agua continental que puedan ser requeridos. El agua continental 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.

4.2 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. A través de la construcción de estas plantas, las empresas mineras pueden generar una visión de largo plazo.

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.

Al analizar las actuales operaciones y futuros proyectos con agua de mar, no debemos dejar de lado 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. 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.

Al mismo tiempo es importante considerar las singularidades de cada operación y su entorno en la definición de su abastecimiento hídrico; el uso de agua de mar no es siempre factible técnica, económica o socialmente. La localización de las operaciones es vital en el análisis, pues no todas pueden abastecerse de agua de mar.



Tabla 2: Catastro plantas desaladoras y Sistemas de impulsión de agua de mar (SIAM) en la minería del cobre en operación.

PROPIETARIO	MINA	REGIÓN	ETAPA DE DESARROLLO	CAPACIDAD DE DESALACIÓN (lts/seg)	CAPACIDAD USO AGUA DE MAR (lts/seg)	Longitud tuberías de transporte de agua (Km)
ANTOFAGASTA MINERALS	Michilla	Antofagasta	Cerrada			
ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Antofagasta	Operando	-	15	
LAS CENIZAS	Las Cenizas Taltal	Antofagasta	Operando	9	12	7
MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Antofagasta	Operando	5	20	8
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	Detenida	-	25	12
ANTOFAGASTA MINERALS	Distrito Centinela (Esperanza + El Tesoro)	Antofagasta	Operando	50	1500	145
CAP Minería	Cap Minería y otros clientes	Atacama	Operando	600		120
BHP BILLITON	Escondida - Planta Coloso	Antofagasta	Operando	525	-	180
ANTOFAGASTA MINERALS	Antucoya	Antofagasta	Operando	20	280	145
LUNDING MINING	Candelaria	Atacama	Operando	300	-	110
MANTOS COPPER	Mantoverde	Atacama	Operando	120	-	42
KGHM INT.	Sierra Gorda	Antofagasta	Operando	-	1315	142
BHP BILLITON	Escondida EWS	Antofagasta	Operando	2500	-	180
LUNDING MINING	Candelaria 2030 - continuidad operacional	Atacama	Operando	agrega 200 *	-	110

* Alcanza los 500l l/s de capacidad que tiene la planta actual. Acuerda vender a aguas chañar 170 l/s de agua desalinizada para disminuir la presión en el acuífero de Piedra Colgada

Fuente: Cochilco en base a información pública.

Tabla 3: Futuros proyectos de plantas desaladoras y Sistemas de impulsión de agua de mar (SIAM) en la minería.

AÑO PUESTA EN MARCHA	PROPIETARIO	MINA	REGIÓN	ETAPA DE DESARROLLO	CAPACIDAD DE DESALACIÓN (lts/seg)	CAPACIDAD USO AGUA DE MAR (lts/seg)	Longitud tuberías de transporte de agua (Km)
2020	ANTOFAGASTA MINERALS	Proyecto de Infraestructura Complementaria (INCO)	Coquimbo	Construcción	400 **	-	150
2022	CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	30	400	112
2020	COPEC	Diego de Almagro	Atacama	Factibilidad	-	315	61
2020	Haldeman	Continuidad operacional faena minera Michilla	Antofagasta	Factibilidad (Reapertura planta existente)	20	70	
2020	BHP BILLITON	Spence Growth Option	Antofagasta	Construcción	800 (potencial de 1.600)	-	154
2021	MANTOS COPPER	Desarrollo Mantoverde	Atacama	Factibilidad	agrega 260 ***	-	42
2022	TECK	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Factibilidad	850 (potencial de 1.200)	-	160
2022	CODELCO-CHILE	Planta desaladora Distrito Norte	Antofagasta	Factibilidad	630 (potencial 1.680)	-	160
2023	COLLAHUASI	Collahuasi	Tarapacá	En Calificación	525 (potencial 1.050)****		195
2024	ANTOFAGASTA MINERALS	Distrito Minero Centinela (Esperanza Sur y Encuentro Sulfuros)	Antofagasta	Factibilidad	-	1650 *****	145
Sin información	ANTOFAGASTA MINERALS	Distrito Minero Centinela (reemplazo acueducto existente)	Antofagasta	Factibilidad	-	850 *****	145
2025	FREEMPORT McMORAN	El Abra Mill Project	Antofagasta	Sin EIA	500	-	
Multiclientes							
2020	ENAPAC (Energías y Aguas del Pacífico).		Copiapó	EIA Aprobado	2600		
Hipotéticos							
2026	GOLDCORP y TECK	Nueva Unión	Antofagasta	Sin EIA	700	-	
2025	Coro Mining	Proyecto Marimaca	Antofagasta	Sin EIA	Sin información	Sin información	

Fuente: Cochilco en base a información pública.

Observaciones tabla 2 y 3

** Proyectándose su uso como respaldo en períodos de sequía.

*** Aumento en la capacidad de la planta actual de 120 lts/seg a 380 lts/seg.

**** Agua desalada que se utilizará en caso de mantención o falla de las instalaciones de abastecimiento hídrico de uso permanente. El sistema de desalinización y conducción será habilitado en dos fases para suplir caudales máximos de 525 L/s y 1.050 L/s en el cuarto y octavo año del Proyecto.

***** Nuevo acueducto paralelo al existente y Reemplazo de acueducto existente.

4.3 Desafíos con respecto a la desalinización:

El uso de tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas y el suministro alternativo de agua también ha generado una oportunidad de mercado secundario como es el uso de agua de mar. Los procesos de desalinización tienen el mayor potencial de crecimiento. En este escenario, y para superar las dificultades en la obtención de recursos hídricos para sus actividades, las compañías mineras han comenzado a privilegiar las inversiones en plantas de desalinización o sistemas de impulsión de agua de mar para ser utilizada directamente en los procesos.

De acuerdo al estudio “El estado de la desalación y la producción de salmuera: una perspectiva global” publicado este año se plantean los siguientes desafíos. En el contexto de la creciente escases mundial del agua el uso de la desalinización es una opción cada vez más viable para reducir la brecha entre la demanda y el suministro de agua. Sin embargo, aunque la desalinización puede proporcionar un suministro ilimitado, independiente del clima y constante, existen desafíos específicos para aprovechar el potencial del agua desalinizada, como los costos económicos relativamente altos y una variedad de problemas ambientales.

Una gran preocupación ambiental surge del gran volumen de salmuera producida en el proceso de desalinización que requiere un manejo especial. El manejo de la salmuera es económicamente costoso y técnicamente difícil y, por lo tanto, la mayoría de las plantas de desalinización descargan salmuera no tratada directamente al medio ambiente. Para abordar estos desafíos, los estudios de investigación han demostrado que existen oportunidades económicas asociadas con la salmuera, como la recuperación comercial de sal y metales y el uso de salmuera en los sistemas de producción de pescado. Resulta necesario traducir dichas investigaciones para convertir un problema ambiental en una oportunidad (Jones & Qadir, 2019).

La mayoría de los nuevos proyectos mineros considera el agua de mar como fuente de abastecimiento. Sin embargo esto plantea importantes desafíos en términos de costos, debido a la



fuerte inversión que requieren estos proyectos y al alto consumo energético, no sólo para desalinizar sino sobre todo para bombear el agua desde el borde costero hasta la faena minera.

Si bien el agua de mar es una fuente segura e inagotable, no es necesariamente la mejor solución para todos los proyectos. El agua es un tema que requiere una gestión local, en el que los principales elementos de la operación minera pueden variar de manera significativa de una explotación a otra, dependiendo de la configuración del área local de captación y de la naturaleza de las operaciones de la explotación de que se trate. En este sentido es fundamental analizar el problema de suministro de agua en un contexto regional, buscando posibles sinergias que permitirían reducir los costos, aportando soluciones no solo para la minería sino también para otros sectores con plantas que abastezcan a diferentes sectores, en base a la demanda futura de estos sectores, que aprovechen economías de escala, y así lograr un diseño lo más eficiente posible.



Capítulo 5: Comentarios finales

En el contexto de crisis hídrica a nivel mundial vemos que Chile no está ajeno, en los últimos meses se ha agudizado la crisis hídrica en el país, donde ya se plantea que el 2019 es uno de los años más secos que hemos enfrentado en los últimos 60 años. Según cifras de la actualización del Balance Hídrico Nacional de la Dirección General de Aguas (DGA), la disponibilidad de agua ha disminuido hasta en un 37% en algunos sectores del país y las precipitaciones se han ido reduciendo gradualmente a nivel nacional. Por otra parte el aumento de la población y el crecimiento de las industrias más importantes del país (agricultura y minería), suponen más demanda de agua.

Desde el punto de vista de la industria minera vemos que, en general, los minerales con mayor nivel de leyes requieren menos agua para el procesamiento y viceversa. Con el actual agotamiento de los recursos y el vuelco de la matriz productiva hacia minerales de sulfuros, la explotación de minerales de baja ley va en aumento y procesos más intensivos en el uso de agua, generará un aumento en la demanda de agua si se mantienen las mismas condiciones. Es por esto que es fundamental cambiar estas condiciones, ya sea a través de optimización, nuevas tecnologías, nuevos procesos, fuentes alternativas, entre otras opciones.

Respecto al desempeño en el uso del agua, si logramos gestionar el uso del agua, ya sea a través de procesos de eficiencia o el reúso de las aguas, podremos procesar mayor cantidad de mineral sin necesariamente aumentar en la misma medida el consumo 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 necesidad de una tecnología efectiva de reutilización y reciclaje se hace fundamental junto con una gestión adecuada de las fuentes de suministro para reducir el consumo.

De acuerdo a la publicación “Transición Hídrica: el futuro del agua en Chile”, en el marco del proyecto Escenario Hídricos 2030, existen 6 principales causas de los problemas que generan la brecha y riesgo hídrico, la principal es la deficiente gestión del recurso, representando el 44% de las causas identificadas.

Un punto no menos importante, y que a lo largo de los años se ha podido constatar es la necesidad de un enfoque estandarizado sobre el agua que pueda aplicarse de manera consistente en diferentes regiones, sectores y en las complejas cadenas de suministro, y que a la vez reconozca la naturaleza local del agua. Así lo ha hecho la Alianza para la Gestión Sostenible del Agua, en el documento “estándar internacional para la gestión sostenible del agua” (Alliance for Water Stewardship, 2019), donde se plantean los cinco pasos, indicadores, criterios asociados y glosario de términos. El propósito del estándar es contribuir a la sostenibilidad de los recursos hídricos locales mediante la adopción y promoción de un marco de trabajo universal para el uso sostenible del agua. De modo similar la búsqueda de una metodología común es fundamental para tener una visión local y poder comparar la información entre la misma industria y los otros sectores.



Bibliografía

- Alliance for water stewardship. (2019). *Estandar internacional para la gestion sostenible del agua versión 2.0*.
- DGA. (2017). *Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417*. Ministerio de Obras Públicas. Santiago: Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Fundación Chile. (2019). *Transición Hídrica: El Futuro del Agua en Chile*. Santiago, Chile.
- ICMM . (2017). *Guia práctica para una presentación coherente de informes sobre el agua*.
- Jones, E., & Qadir, M. (2019). *Science of the Total Environment*.
- ONU. (2019). *www.un.org*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-action-decade/>
- ONU-Agua. (2016). *Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. Paris: UNESCO.



Anexos

Estadísticas nacionales

CONSUMO DE AGUA CONTINENTAL EN LA MINERÍA DEL COBRE POR PROCESO Y TOTAL												
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018
Concentración	lts/seg	8.724	9.144	8.856	9.190	9.079	8.947	9.201	9.708	8.902	8.085	-9,2%
Hidrometalurgia	lts/seg	2.184	1.856	1.778	1.384	1.751	1.705	2.008	1.930	1.845	1.729	-6,3%
Mina	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	675	-
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	566	551	523	640	539	518	-4,0%
Otros	lts/seg	1.362	1.651	1.930	1.804	1.324	1.748	1.339	1.337	1.978	2.082	5,3%
Cesión o venta a terceros	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	269	-
TOTAL PAÍS	lts/seg	12.270	12.651	12.564	12.379	12.719	12.951	13.072	13.614	13.264	13.358	0

DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL CONSUMO DE AGUA CONTINENTAL EN LA MINERÍA DEL COBRE POR PROCESO											
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Concentración	%	71,1%	72,3%	70,5%	74,2%	71,4%	69,1%	70,4%	71,3%	67,1%	60,5%
Hidrometalurgia	%	17,8%	14,7%	14,1%	11,2%	13,8%	13,2%	15,4%	14,2%	13,9%	12,9%
Mina	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,1%
Fundición y Refinería	%	-	-	-	-	4,4%	4,3%	4,0%	4,7%	4,1%	3,9%
Otros	%	11,1%	13,1%	15,4%	14,6%	10,4%	13,5%	10,2%	9,8%	14,9%	15,6%
Cesión o venta a terceros	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0%

EXTRACCIÓN DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE SEGÚN FUENTE DE EXTRACCIÓN												
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	5.867	5.942	5.908	5.577	6.206	5.463	5.153	-5,7%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	5.749	6.200	6.302	6.430	6.332	6.667	7.122	6,8%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	763	577	742	1.064	1.077	1.133	1.083	-4,4%
Aguas de mar	lts/seg	316	243	713	978	1.287	1.707	2.275	2.446	3.162	3.993	26,3%

USO DE AGUA DE MAR EN LA MINERÍA DEL COBRE												
Año	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018
Desalada	lts/seg	180	132	223	369	581	885	965	834	1532	2117	38,2%
Salobre	lts/seg	136	111	490	609	706	822	1.309	1.612	1.630	1.876	15,1%
TOTAL	lts/seg	316	243	713	978	1.287	1.707	2.275	2.446	3.162	3.993	26,3%

CONSUMO UNITARIO DE AGUA CONTINENTAL POR TONELADA DE MINERAL PROCESADO/TRATADO												
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018
Concentración	m3/ton_min	0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53	0,52	0,50	0,45	0,364	-18,4%
Hidrometalurgia	m3/ton_min	0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,11	0,106	-1,4%

CONSUMO UNITARIO DE AGUA CONTINENTAL DE ACUERDO AL TAMAÑO DE EMPRESA												
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018
CONCENTRACIÓN												
Gran Minería del Cobre	m3/ton_min	0,67	0,68	0,63	0,59	0,57	0,53	0,50	0,49	0,44	0,359	-18,7%
Mediana Minería del Cobre	m3/ton_min	0,78	0,90	0,88	0,88	0,85	0,59	0,89	0,73	0,65	0,405	-38,1%
PROMEDIO PAÍS		0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53	0,52	0,50	0,45	0,364	-18%
HIDROMETALURGIA												
Gran Minería del Cobre	m3/ton_min	0,12	0,11	0,12	0,10	0,10	0,08	0,07	0,09	0,10	0,103	2,8%
Mediana Minería del Cobre	m3/ton_min	0,11	0,19	0,24	0,10	0,06	0,15	0,25	0,27	0,25	0,398	57,2%
PROMEDIO PAÍS		0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,11	0,106	-1%

RECIRCULACIÓN DE AGUA EN LA OPERACIÓN COMPLETA												
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018
Agua Reciclada total	lts/seg	ND	ND	25.367	34.291	32.138	31.708	40.382	43.269	38.069	44.867	17,9%
Tasa de recirculación total promedio	%	ND	ND	68,7%	74,0%	73,0%	73,9%	72,5%	72,9%	69,7%	72,1%	3,4%

RECIRCULACIÓN DE AGUA EN LA CONCENTRADORA												
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018
Agua Reciclada en concentradora	lts/seg	14.696	18.052	20.601	21.750	20.386	21.408	25.071	23.717	27.720	35.934	29,6%
Tasa de recirculación concentradora promedio	%	57,3%	62,9%	67,7%	68,0%	67,8%	70,3%	73,2%	71,0%	75,7%	74,3%	-1,8%

Estadísticas regionales

EXTRACCIÓN DE AGUA CONTINENTAL EN LA MINERÍA DEL COBRE POR PROCESO PRODUCTIVO Y TOTAL												
Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018	
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA												
Concentración	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
Hidrometalurgia	lts/seg	0	0	0	0	0	3	4	5	5	-100%	
Mina	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	-	
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
Otros	lts/seg	0	0	0	0	0	1	2	0,1	0,1	0%	
Cesión o venta a terceros	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	-	
TOTAL XV	lts/seg	0	0	0	0	4	7	5	5	0,1	-98%	
REGIÓN DE TARAPACÁ												
Concentración	lts/seg	997	952	887	902	905	905	862	844	935	11%	
Hidrometalurgia	lts/seg	179	189	140	170	131	163	163	107	91	-25%	
Mina										68		
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Otros	lts/seg	99	273	261	289	284	273	148	160	233	-29%	
Cesión o venta a terceros										0,2		
TOTAL I	lts/seg	1.275	1.413	1.288	1.361	1.320	1.341	1.217	1.129	1.167	6%	
REGIÓN DE ANTOFAGASTA												
Concentración	lts/seg	3.373	3.242	3.081	3.271	3.289	3.227	3.093	2.836	2.372	2.322	-2%
Hidrometalurgia	lts/seg	1.441	1.329	1.388	1.002	1.369	1.351	1.643	1.535	1.484	1.318	-11%
Mina											308	
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	221	294	261	258	239	254	6%
Otros	lts/seg	937	976	781	679	107	553	515	686	872	845	-3%
Cesión o venta a terceros											167	
TOTAL II	lts/seg	5.751	5.546	5.250	4.952	4.986	5.424	5.512	5.315	4.967	5.214	5%
REGIÓN DE ATACAMA												
Concentración	lts/seg	1.201	1.266	1.208	1.136	1.121	882	866	1.033	995,302	816,4223841	-18%
Hidrometalurgia	lts/seg	153	165	168	134	158	100	70	68	60,338	49,22806079	-18%
Mina											66,62155	
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	80	77	80	114	81,04	82,30445139	2%
Otros	lts/seg	296	235	260	354	95	390	151	107	214	268	25%
Cesión o venta a terceros											101	
TOTAL III	lts/seg	1.650	1.667	1.636	1.624	1.454	1.449	1.168	1.322	1.351	1.383	2%
REGIÓN DE COQUIMBO												
Concentración	lts/seg	479	794	801	903	702	886	962	1.134	823	804	-2%
Hidrometalurgia	lts/seg	34	25	4	12	6	7	14	53	56	8	-86%
Mina											99	
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Otros	lts/seg	21	21	153	108	377	93	170	104	267	328	23%
Cesión o venta a terceros											0	
TOTAL IV	lts/seg	534	839	958	1.023	1.085	986	1.145	1.291	1.146	1.238	8%

REGIÓN DE VALPARAÍSO												
Concentración	lts/seg	751	947	1.034	997	1.066	1.141	1.038	1.156	962	819	-95%
Hidrometalurgia	lts/seg	96	NI	76	2	2	0	33	34	16	36	121%
Mina											53	
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	114	79	82	82	80	75	-6%
Otros	lts/seg	0	147	0	76	270	218	148	63	205	170	-17%
Cesión o venta a terceros											0	
TOTAL V	lts/seg	847	1.094	1.110	1.075	1.452	1.438	1.301	1.336	1.263	1.154	-9%
REGIÓN DE O'HIGGINS												
Concentración	lts/seg	1.403	1.508	1.429	1.392	1.312	1.304	1.741	1.883	1.978	1.859	-6%
Hidrometalurgia	lts/seg	265	118	1	10	10	10	10	8	8	31	289%
Mina											52	
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	150	100	100	186	139	106	-24%
Otros	lts/seg	0	0	305	256	156	183	162	161	142	296	109%
Cesión o venta a terceros											0	
TOTAL VI	lts/seg	1.668	1.626	1.735	1.659	1.628	1.598	2.013	2.238	2.268	2.344	3%
REGIÓN METROPOLITANA												
Concentración	lts/seg	521	436	417	589	684	602	596	804	927	530	-43%
Hidrometalurgia	lts/seg	16	30	1	54	75	71	70	118	125	219	75%
Mina											29	
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Otros	lts/seg	9	0	170	42	35	38	42	56	44	11	-74%
Cesión o venta a terceros											0	
TOTAL RM	lts/seg	546	466	588	685	794	711	708	979	1.097	789	-28%

EXTRACCIÓN DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE SEGÚN FUENTE +B97:N140B97:N142B97:N139B97:N897:N133												
Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var 2017-2018	
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA												
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	0	0	0	-	
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	0	0	0	-	
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	4	7	5	0,1	-98,0%	
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
		0	0	0	0	0	4	7	5	0,1		
REGIÓN DE TARAPACÁ												
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	0	105	104	0	15	0	0	-
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	1.271	1.215	1.153	1.133	1.030	1.090	1.156	6,1%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	90	0	84	84	85	77	79	2,6%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
		0	0	0	1.361	1.320	1.341	1.217	1.129	1.167	1.235	



REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	1.915	1.964	1.926	1.674	1.747	750	801	6,7%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	2.539	2.600	3.014	3.148	2.854	3.433	3.580	4,3%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	498	422	484	691	715	784	834	6,4%
Aguas de mar	lts/seg	316	243	713	978	1.039	1.274	1.767	2.053	2.694	3.656	35,7%
		316	243	713	5.931	6.025	6.698	7.279	7.368	7.661	8.870	

REGIÓN DE ATACAMA

Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	701	541	545	408	384	546	594	8,8%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	747	759	750	704	767	634	668	5,4%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	175	154	155	56	171	171	121	-29,2%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	248	433	508	393	468	337	-28,0%
		0	0	0	1.624	1.702	1.883	1.676	1.714	1.819	1.720	

REGIÓN DE COQUIMBO

Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	589	494	552	608	660	609,4	611,06	0,3%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	433	590	433	507	614	520,048111	621,9	19,6%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	31	17	16,377402	5	-69,5%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
		0	0	0	1.023	1.085	986	1.145	1.291	1.146	1.238	

REGION DE VALPARAISO

Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	754	829	819	681	705	638	466	-27,0%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	322	623	604	606	619	612	679	10,8%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	15	14	12	13	9	-28,0%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
		0	0	0	1.075	1.452	1.438	1.301	1.336	1.263	1.154	

REGIÓN DE O'HIGGINS

Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	1.430	1.363	1.469	1.683	1.953	2.017	2.133	5,7%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	229	219	175	181	285	251	211	-15,7%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	150	0	0	0	-
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
		0	0	0	1.659	1.582	1.644	2.013	2.238	2.268	2.344	

REGIÓN METROPOLITANA

Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	478	600	537	523	742	903	548	-39,3%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	207	194	174	153	162	127	206	62,6%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	32	74	67	35	-48,1%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
		0	0	0	685	794	711	708	979	1.097	789	



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

Camila Montes P.
Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts A.
Director de Estudios y Políticas Públicas

Septiembre / 2019

