



Consumo de agua en la minería del cobre al 2019

DEPP 14/2020

Registro Propiedad Intelectual N° 2020-A-8656



Resumen ejecutivo

El presente estudio 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 metodología utilizada en este estudio corresponde al procesamiento de datos, clasificación y análisis de la información contenidas en las encuestas EMPAE del consumo de agua proporcionada por las empresas mineras. Una vez que se tienen todos los datos estos se agrupan por región y se analizan.

Para la presente actualización, la muestra de las empresas consultadas en la encuesta corresponde al 98% de la producción de cobre nacional de 2019, específicamente 94,8% de la producción de cátodos SxEw y 99,2% de la producción de concentrados. Es importante mencionar que a nivel nacional, la cantidad de mineral procesado disminuyó un 1% entre 2018 y 2019, aproximadamente.

Como resultado, al analizar los consumos del año 2019, el agua de origen continental alcanzó los 12,45 m³/seg. Si comparamos con el año 2018, es posible observar que en términos desagregados, las aguas continentales presentaron una disminución del 6,8%, las aguas de mar y las aguas recirculadas presentaron un aumento del 1,7% y del 15%, respectivamente. En cuanto a la disminución de las fuentes continentales, se debe principalmente a una disminución en el consumo de las fuentes superficiales en un 16%, así como también, a la disminución en el procesamiento de minerales, tanto vía concentración e hidrometalurgia, al aumento en la recirculación y al uso de agua de mar.

Por su parte el consumo de agua de mar fue de 4,06 m³/seg y el agua recirculada fue de 53,32 m³/seg, lo que en total suma 69,83 m³/seg de agua para la minería, incluyendo además las aguas continentales. El consumo de agua es liderado por la región de Antofagasta, región que produce el 54% del cobre en Chile, seguido por la región de O'Higgins y luego Tarapacá y Atacama, que en total consumen el 78% de las aguas continentales.

Al analizar 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 43%, por otro lado el agua de origen superficial alcanza el 26% del agua extraída, las de origen marino llegan al 25% 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 2019, 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, valores similares en comparación al 2018.

Respecto a la recirculación de las aguas, se observa que, a nivel nacional, la tasa de recirculación en las faenas alcanzó un 76%, vale decir, superior en 3 puntos porcentuales al año anterior. En el caso de la concentradora la recuperación de las aguas en estas plantas de proceso fue de un 74,6%, valor similar 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 2019 el agua de mar en la minería del cobre alcanzó los 4,06 m³/seg, lo que representa un 25% del agua utilizada en minería, en relación a las fuentes de extracción. De ellos 1,84 m³/seg corresponden a agua de mar utilizada directamente en los procesos con un alto contenido de sal, mientras que 2,22 m³/seg es de agua previamente desalinizada. El consumo de agua de mar se concentra en las regiones de Antofagasta y Atacama, representando el 90% y 10% respectivamente.



Abstract

The aim of this report is to monitor the use of water in the different copper mining processes, increase the availability and transparency of information on the sector on critical issues, and serve as a basis for the analysis of public discussions.

The methodology used corresponds to the data processing, classification and analysis of the information contained in the EMPAE surveys of the water consumption, provided by the mining companies.

For the present update, the sample of companies consulted in the survey corresponds to 98% of the national copper production of 2019, specifically 94,8% of the production of SxEw cathodes and 99,2% of the production of concentrates. It is important to mention that at the national level, the amount of processed mineral decreased by 1% between 2018 and 2019, approximately.

As a result, when analyzing the consumption of the year 2019, the continental waters reached 12,45 m³/sec. If we compare with the year 2018, it is possible to observe that in disaggregated terms, continental waters presented a decrease of 6,8%, sea waters and recycled waters presented an increase of 1,7% and 15%, respectively. As for the decrease in continental sources, it is mainly due to a decrease in the consumption of surface water sources by 16%, as well as to the decrease in mineral processing, both via concentration and hydrometallurgy, to the increase in recycled water and the use of seawater (both desalinated water and used directly).

For its part, the consumption of seawater was 4,06 m³/sec and recycled water was 53,32 m³/sec, which in total add 69,83 m³/sec of water for copper mining, including the continental waters. Water consumption is led by the Antofagasta region that produces 54% of the copper in Chile, followed by the O'Higgins region and then by Tarapacá and Atacama, which in total consume 78% of continental waters.

When analyzing the extractions according to the supply sources, it is observed that the largest extraction source comes from groundwater, which constitutes 43%, on the other hand surface water reaches 26% of the extracted water, seawater reaches 25%, and water acquired from third parties represent 6%.

The analysis by mining process at the regional level indicates that, in all regions (with the exception of Arica and Parinacota, which is very unrepresentative given the low volume of production), the main process where water is used is in the processes concentration.



In assessing the performance during 2019, the unit consumption in the concentration process was 0,36 m³/tons of mineral, while the unit consumption in the hydrometallurgy process was 0,11 m³/ tons of mineral, similar values in comparison to 2018.

Regarding the recycled water, it is observed that, at the national level, the recycling rate reached 76%, that is, 3 percentage points higher than the previous year. In the case of the Concentrator Plant, the recycling rate in this process was 74,6%, a similar value to the previous year. As it is a very water intensive process, especially due to the flotation process, it is desirable to reuse as much water as possible.

Finally, in relation to the use of seawater, we see that by 2019, seawater in copper mining reached 4,06 m³/sec, which represents 25% of the water used in mining, in relation to sources of extraction. Of these, 1,84 m³/sec correspond to seawater used directly in processes (non-desalinated), while 2,22 m³/sec is desalinated water. The consumption of seawater is concentrated in the regions of Antofagasta and Atacama, representing 90% and 10% respectively.



Contenido

Resumen ejecutivo	i
Abstract	iii
1 Introducción	1
2 Metodología	3
3 Antecedentes Generales	6
3.1 Fuentes de agua en minería	6
4 Principales Resultados	8
4.1 Consumo de agua total	8
4.1.1 Mineral procesado y leyes de alimentación	9
4.2 Consumo de aguas continentales	12
4.2.1 Distribución del consumo de aguas continentales por región.....	12
4.3 Consumo de agua según fuente de abastecimiento	15
4.3.1 Consumo de agua por región según fuente de abastecimiento	18
4.4 Consumo de agua por proceso minero	19
4.4.1 Consumo de agua continental por región según procesamiento de minerales.....	23
5 Gestión del Agua	25
5.1 Coeficientes unitarios	26
5.1.1 Coeficientes unitarios: agua continental por procesamiento de mineral	26
5.1.2 Coeficientes unitarios por región	28
5.1.3 Coeficientes unitarios según tamaño de minería.....	29
5.2 Make up por proceso	31
5.3 Porcentaje de Recirculación	32
5.3.1 Recirculación en operaciones	32
5.3.2 Recirculación en planta concentradora	33
6 Agua de mar en minería	35
6.1 Contexto.....	35
6.2 Uso de agua de mar en minería en Chile	36
6.3 Operaciones y nuevos proyectos de agua de mar	37
6.4 Desafíos en relación al uso de agua de mar y desalinización en minería	41
7 Conclusiones y Comentarios finales	43
8 Referencias	46
9 Anexos	47
Anexo I: Estadísticas nacionales	47
Anexo II: Estadísticas regionales	49



1 Introducción

El agua es esencial para la vida, las comunidades, el medio ambiente y la actividad económica e industrial. Dado el escenario de escasez hídrica que nos hemos visto envueltos en los últimos años, la competencia por el agua continúa creciendo. El Foro Económico Mundial reconoce una crisis mundial del agua, y la clasifica como uno de los tres primeros riesgos mundiales. Dicha situación es posible revertirla sólo si se toman las medidas necesarias para una gestión más eficiente del recurso hídrico.

En este contexto de crisis hídrica a nivel mundial vemos que Chile no está ajeno. Según estimaciones del WRI¹ (2019) en su índice estrés hídrico (water stress), en relación a los países con más riesgo de una crisis del agua, Chile ocupa el lugar 18, calificado con riesgo alto. Por otra parte el aumento de la población y el crecimiento de las industrias más importantes del país (agricultura y minería), suponen una mayor demanda de agua. Por ello una adecuada gestión de los recursos hídricos en minería es primordial para un desarrollo sostenible de la industria, y en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (ONU, 2015) al año 2030, en el objetivo 6 de agua limpia y saneamiento, y de manera transversal con los demás objetivos, especialmente el 3 (salud y bienestar) y el 12 (producción y consumo sustentable), y 14 (vida submarina).

Si bien el uso del agua en la industria minera representa solo el 3% del suministro de agua de Chile (Atlas del agua DGA 2016), muchas de las concesiones y operaciones mineras se ubican en zonas donde la escasez de agua es un factor limitante para el desarrollo regional.

Al analizar el tema hídrico geográficamente vemos que el norte de Chile es una de las áreas más secas del planeta y donde se concentra la minería, los recursos hídricos superficiales son escasos y existe una demanda creciente de agua por parte de los usuarios industriales, locales, las comunidades y el medio ambiente. En este sentido, es importante destacar el esfuerzo realizado por las empresas mineras en apuntar a otras fuentes de extracción como es el agua de mar, con el fin de desestresar las fuentes continentales como agua fresca para sus operaciones.

El suministro de agua es transcendental para la industria minera debido a la cantidad de procesos que requieren agua para funcionar, por ello, los impactos

¹ World Resources Institute, Water Risk Atlas **2019**.

en la calidad y cantidad del agua son uno de los aspectos más polémicos de los proyectos mineros.

No es sorprendente que, en este contexto, exista una tensión inevitable entre las necesidades de la población en general, que requieren el agua para la supervivencia y la agricultura, y las necesidades de la industria minera.

En este contexto, la industria minera se enfrenta desafíos estratégicos a largo plazo en relación con el agua; asegurar suficiente agua para satisfacer el aumento de la producción, reducir el consumo de agua, consumo de energía y las emisiones debido a las presiones sociales, ambientales y económicas, ir en búsqueda de nuevas tecnología y desarrollo de I+D+i en relación a reutilización y reciclaje junto con una gestión adecuada de las fuentes de suministro 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.

Considerando el contexto previamente descrito y 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. 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 alcance de este análisis comprende las empresas productores 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.

Agradecemos la colaboración de las empresas mineras que forman parte de la Encuesta EMPAE, por su contribución al presente estudio y de su continuidad.

Para el presente informe, dada la contingencia producto de la pandemia del Coronavirus decretada por las autoridades sanitarias, el porcentaje de encuestas EMPAE recibidas se vio afectado en un 1% respecto del año anterior, por lo cual la muestra de las empresas consultadas para el 2019 corresponde al 98% de la producción de cobre nacional de 2019, específicamente 94,8% de la producción de cátodos SxEw y 99,2% de la producción de concentrados.



2 Metodología

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 mineras², según se describe a continuación:

- I Envío encuesta EMPAE³ a las empresas mineras*
- II Recepción de Encuesta EMPAE y Análisis de datos*
- III Principales resultados*
- III Conclusiones y comentarios más relevantes*

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 analizaron⁴.

Para el análisis de la información y procesamiento de los datos, se considera el flujo de los procesos productivos mineros y el modelo de entrada-salida "Water Accounting Framework (WAF)".

- **Descripción etapas procesamiento de minerales**

El agua es un recurso estratégico para la minería, siendo esencial 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.

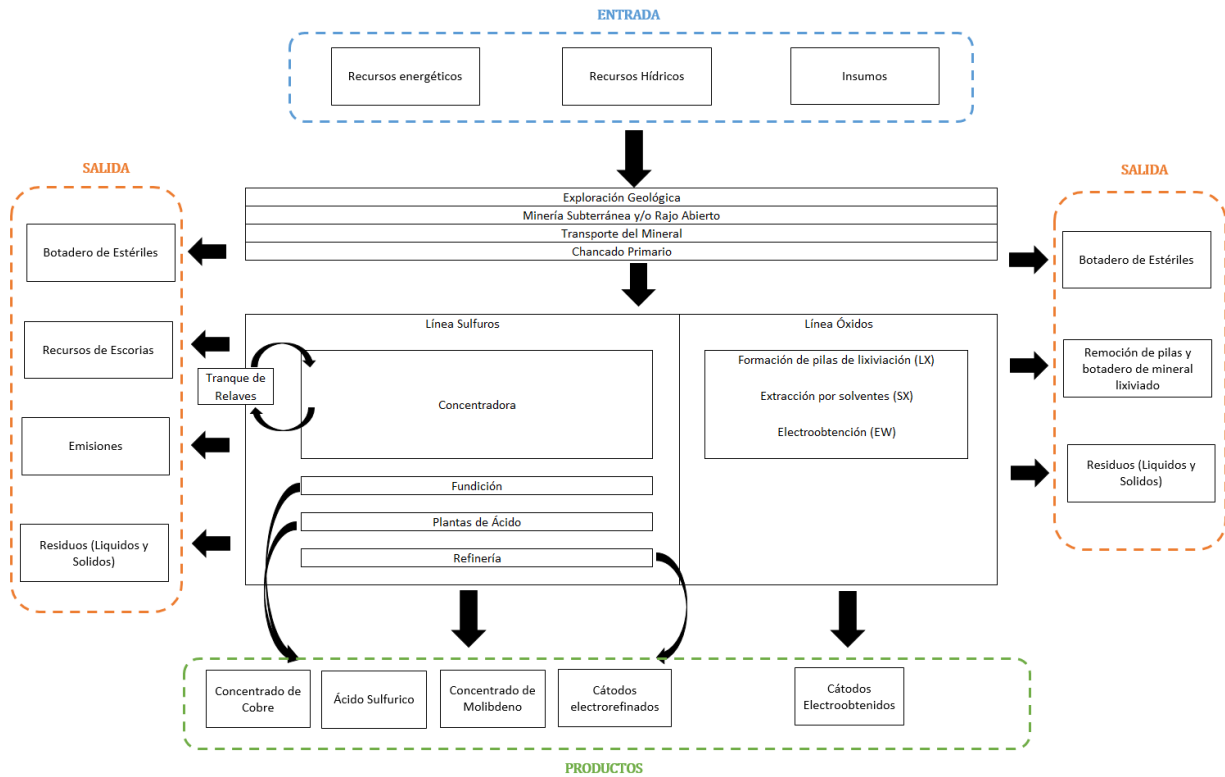
² La información provista por las empresas mineras tiene carácter reservado, por lo que los resultados se muestran de manera global.

³ Encuesta EMPAE: Encuesta minera de producción, agua y energía de COCHILCO.

⁴ 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.



Figura 1. Descripción etapas procesos productivos mineros



Fuente: Elaborado por DEyPP, 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.

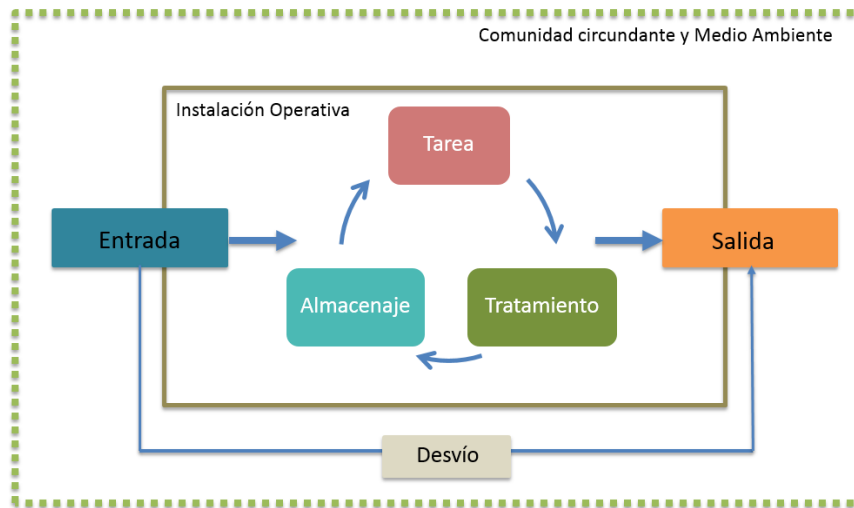
- **Modelo de entrada-salida "Water Accounting Framework (WAF)"**

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 utilizado como una herramienta de gestión del recurso hídrico, 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.

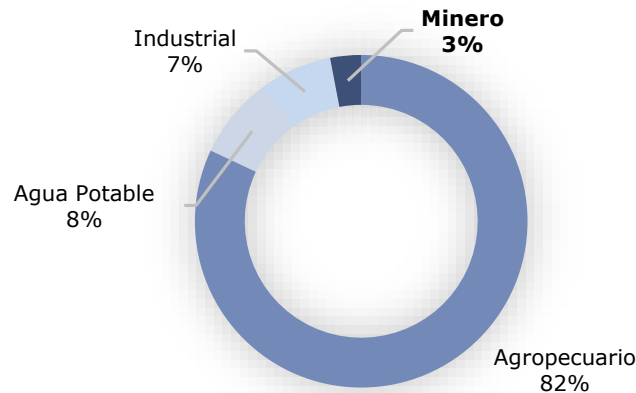


3 Antecedentes Generales

En nuestro país, la industria minera es probablemente el sector más importante de la economía, el cual representó el 9,4%⁵ del PIB en el año 2019 y en el mismo período, las exportaciones mineras representaron el 55,2%⁶ de las exportaciones totales.

Para la minería, el agua es un recurso estratégico ya que es esencial para el procesamiento de los minerales. Como contexto nacional, el consumo de agua por parte del sector minero alcanza el 3% según información entregada por la Dirección General de Aguas (DGA), siendo el sector con mayor consumo el agropecuario.

Figura 3: Distribución de los usos consuntivos⁷ del agua a nivel nacional



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

3.1 Fuentes de agua en minería

Es posible identificar tres grandes 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

⁵ Banco Central.

⁶ Anuario Cochilco 2020.

⁷ Derecho de aprovechamiento consuntivo es aquel que faculta a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad (Código de Aguas).



y humedales entre otros. 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, correspondiente al total de entrada de aguas la cual puede provenir de las distintas fuentes.

Figura 4: Fuentes de agua en minería, agua total.



Aguas Continentales

Las aguas continentales son cuerpos de agua dulce permanentes que se encuentran sobre o debajo de la superficie de la Tierra alejados de las zonas costeras. Algunas aguas continentales corresponden a ríos, lagos, reservas, humedales, entre otros.



Aguas de Mar

Se denomina a los grandes volúmenes de agua de la Tierra, los cuales poseen la mayor parte líquida del planeta que rodea a todos los continentes y las islas. Se caracteriza por su alto contenido de sal y temperaturas propias.



Aguas Recirculadas

Corresponde a todos los flujos de agua utilizados o trabajados en alguna tarea que pueden ser utilizados nuevamente en el mismo u otro proceso dentro del modelo operacional. En la minería por ejemplo, desde la laguna de los tranques de relaves

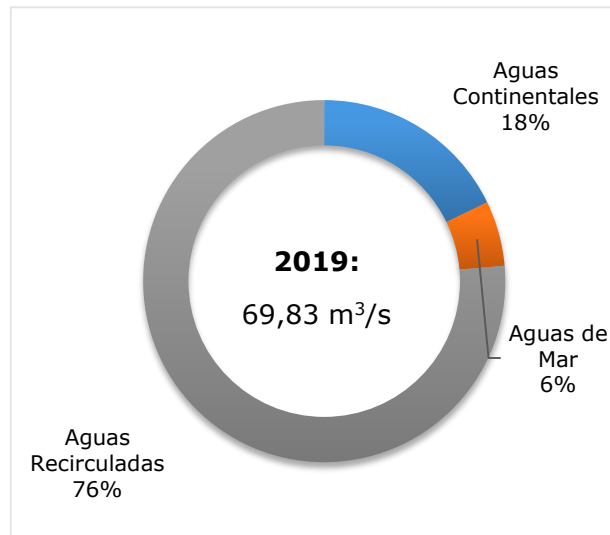
Fuente: Elaborado por Cochilco.

4 Principales Resultados

4.1 Consumo de agua total

En relación al consumo de agua total reportado en el 2019 por la industria minera para la obtención de 5.787,4 miles de toneladas de cobre fino producidas, se observa que el agua de origen continental alcanzó los 12,45 m³/seg (18%), el agua de mar llegó a los 4,06 m³/seg (6%) y el agua recirculada fue de 53,32 m³/seg (76%), lo que en total suma 69,83 m³/seg de agua, según se presenta en la siguiente figura.

Figura 5: Distribución del consumo de agua total en la industria minera del cobre año 2019 (%)

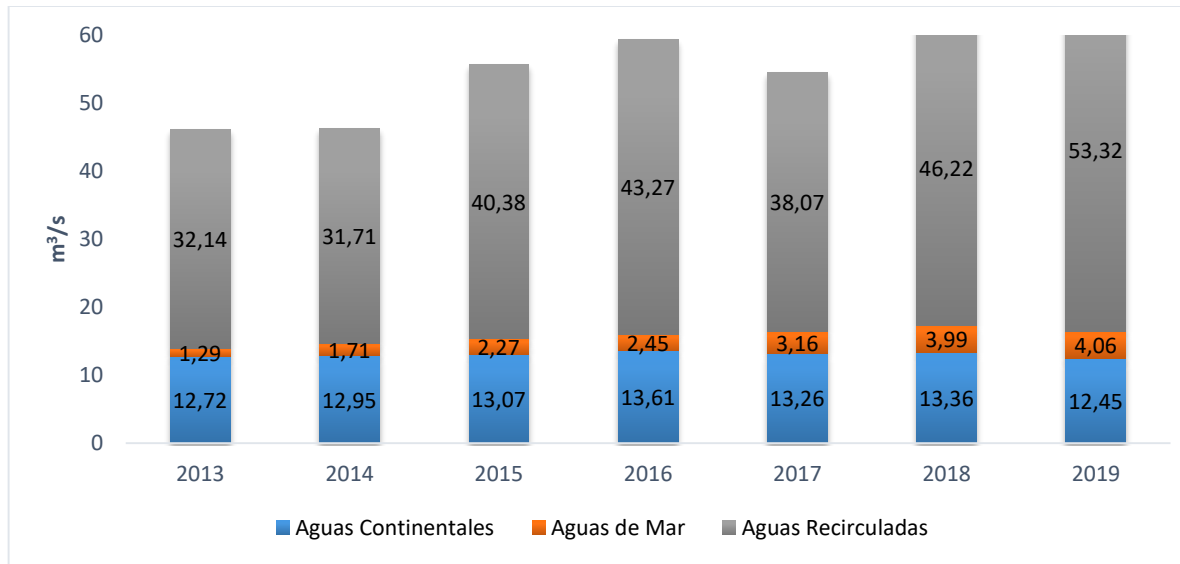


Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

Al analizar la figura 6 en relación a los consumos de agua globales en la minería en los últimos años, 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. Respecto de las fluctuaciones de las aguas recirculadas, importante advertir que aún persisten algunas diferencias, observándose ciertas mediciones diferentes entre empresas para un mismo concepto. Sin perjuicio de ello, desde el 2018 se ha podido contabilizar de mejor manera las aguas recirculadas en las operaciones mineras, lo cual ha mostrado la gestión de las empresas mineras en el manejo de estas aguas, exhibiendo una tendencia al alza.

Si comparamos con el año 2018, es posible observar que en términos desagregados, las aguas continentales presentaron una disminución del 6,8%, por su parte las aguas de mar y las aguas recirculadas presentaron un aumento del 1,7% y del 15%, respectivamente.

Figura 6: Distribución del consumo de agua total en la industria minera del cobre año 2019 (%)



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

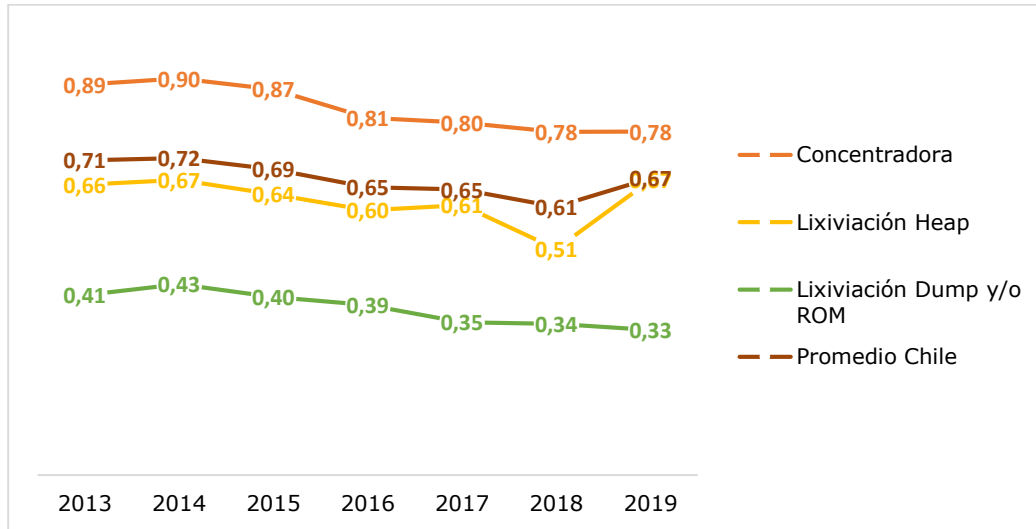
4.1.1 Mineral procesado y leyes de alimentación

- **Tendencia de leyes de mineral procesado 2013-2019**

En relación tendencia de leyes de mineral procesado en los últimos años, es posible observar en la siguiente figura, una tendencia sostenida a la baja, por consecuente, el procesamiento de una mayor cantidad de mineral se hace indispensable para conseguir la misma cantidad de cobre fino.



Figura 7: Leyes promedio de minerales de óxidos y sulfuros a nivel nacional 2013-2019 (%)

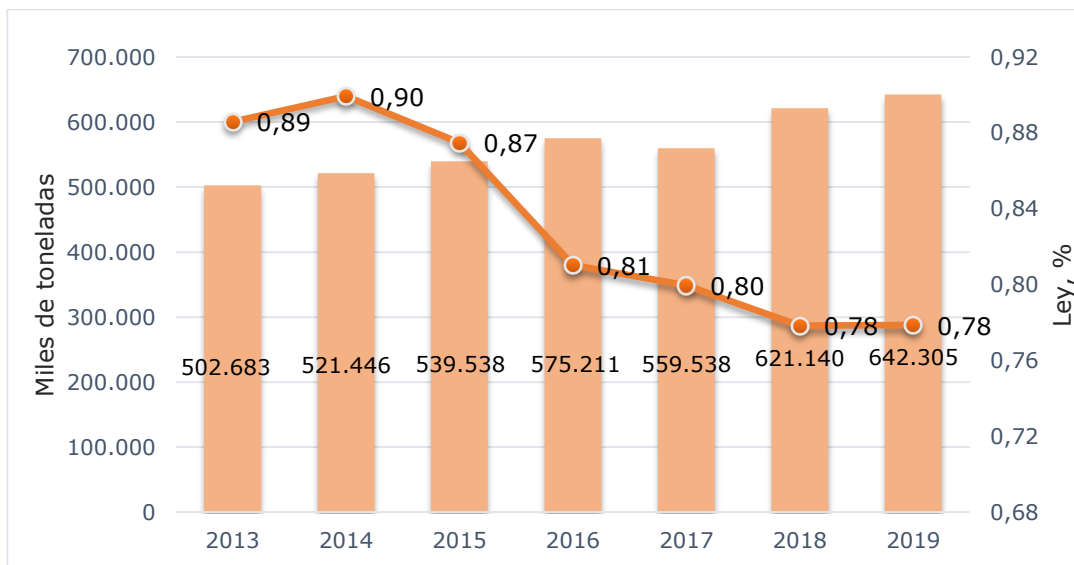


Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

• **Tendencia tonelaje de mineral extraído**

Por su parte, las siguientes figuras muestran el tonelaje de mineral extraído por tipo de mineral, para sulfuros y óxidos. En el caso de los sulfuros, se observa una clara tendencia al alza en relación al tonelaje procesado a medida que la ley de mineral disminuye. En el caso de los óxidos, se observa una tendencia fluctuante.

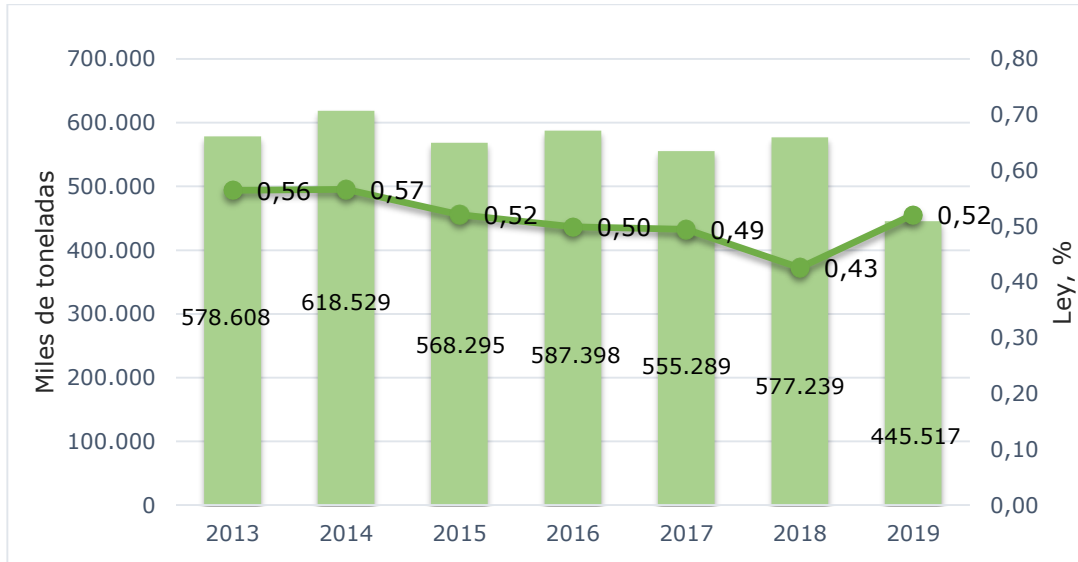
Figura 8: Mineral de sulfuro extraído 2013-2019 (Miles de toneladas)



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



**Figura 9: Mineral de óxido extraído 2013-2019
(Miles de toneladas)**



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

Cabe hacer presente que a nivel nacional, la cantidad de mineral total procesado disminuyó en un 1% entre 2018 y 2019 aproximadamente. Por su parte el consumo de agua continental disminuyó en un 6,8%. Importante indicar que la magnitud de dicha disminución no se comporta de manera lineal (1:1) a la disminución de la cantidad de mineral procesado, al existir eficiencias en el uso del recurso.

En efecto, el agotamiento de los yacimientos requiere un mayor procesamiento de mineral con el fin de obtener la misma cantidad de cobre fino, lo cual se traduce en un mayor consumo de agua. Por ello, una adecuada gestión hídrica y su optimización, impactan directamente en la cantidad de agua utilizada independientemente de su origen para cada proceso. Considerar además que los minerales sulfurados se procesan típicamente mediante concentración, siendo altamente intensivo en el uso de agua en comparación con el tratamiento vía hidrometalurgia, como se verá más adelante.

Dado el agotamiento de los recursos, es posible advertir que la explotación de minerales de baja ley seguirá en aumento, generando un aumento creciente en la demanda de agua, considerando las mismas condiciones de operación.

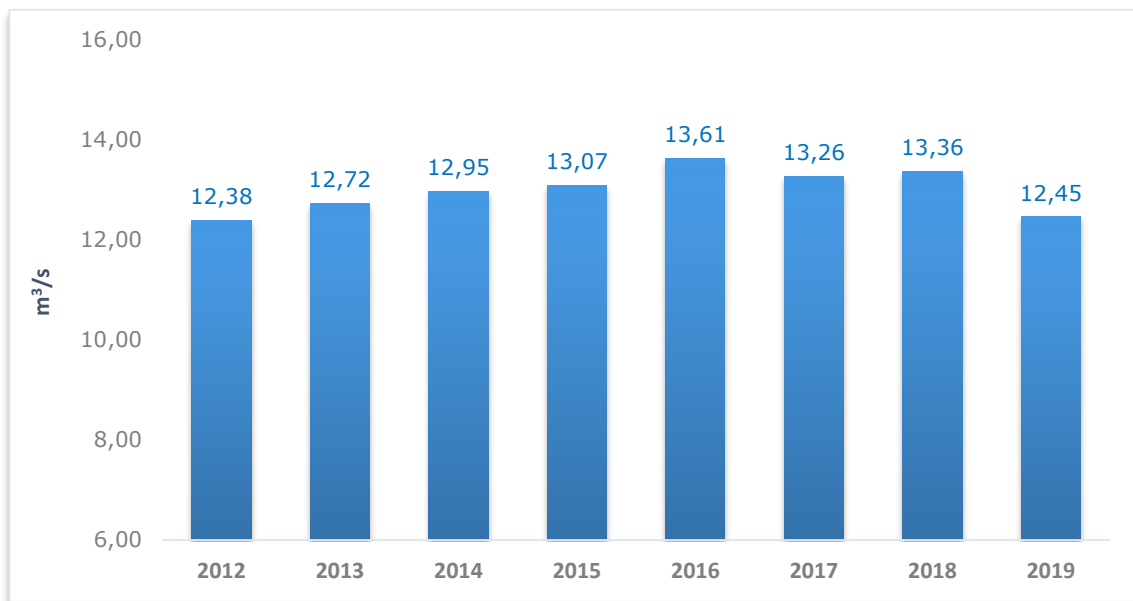


4.2 Consumo de aguas continentales

El análisis de este apartado se centra en el consumo de aguas continentales en la minería, puesto que son aquellas fuentes que están sujetas a cuestionamientos en relación a una insuficiencia y sobredemanda, lo cual exige a todos los usuarios realizar una correcta gestión hídrica y disminuir su consumo en la mayor medida posible.

Según se observa en la siguiente gráfica, en el año 2019 la cantidad de agua continental utilizada por la minería del cobre alcanzó los 12,45 m³/seg, un 6,8% menor que en el 2018, lo cual se explica principalmente por la gestión hídrica de las empresas mineras en relación al aumento de la recirculación en la operaciones, y en menor medida, al mayor consumo de agua de mar, lo cual se analizará más adelante.

Figura 10: Consumo de aguas continentales en la minería del cobre 2013-2019(m³/seg)



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

4.2.1 Distribución del consumo de aguas continentales por región

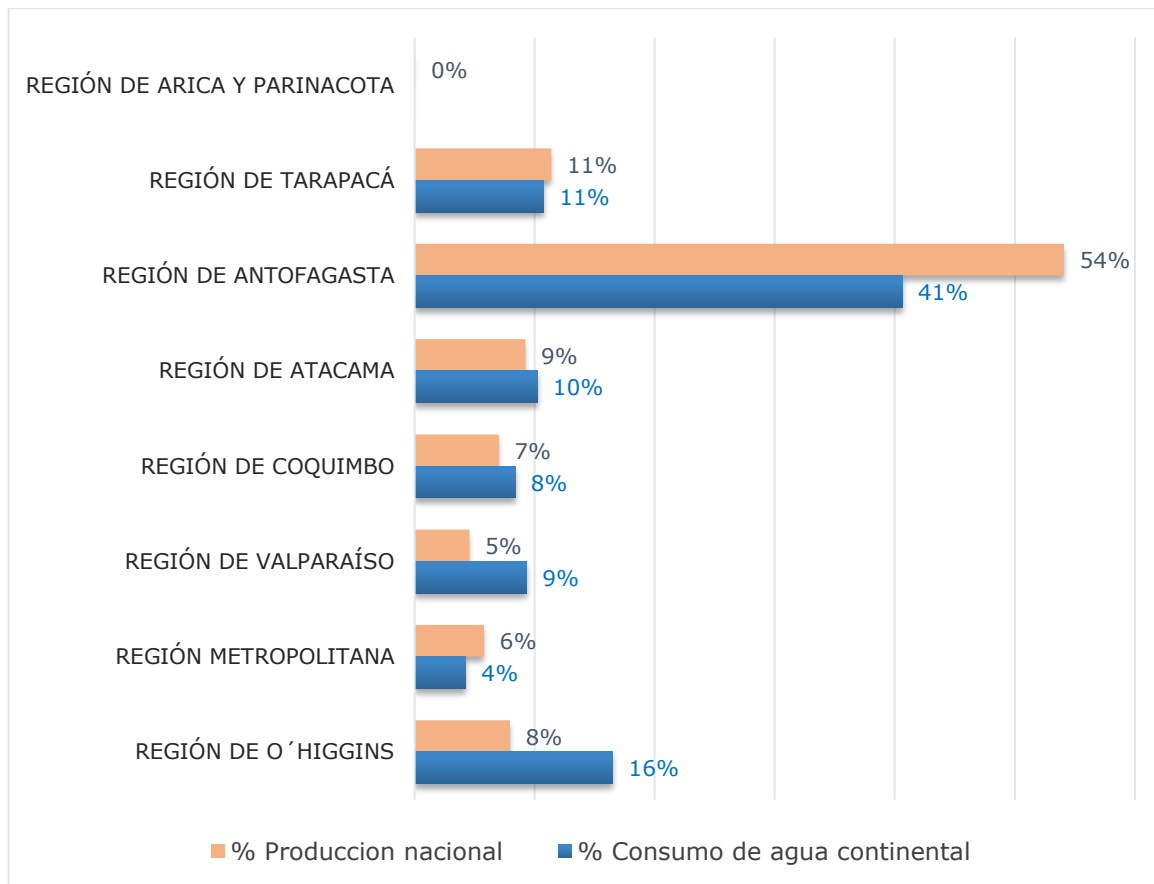
Dada la diversidad geográfica de nuestro país, la distribución de los recursos hídricos es desigual a lo largo del territorio nacional, por ello es necesario conocer el comportamiento de los consumos de agua regionalmente, de manera de poder enfatizar los esfuerzos en aquellas zonas con mayor estrés hídrico.



Si bien la minería no es quien más agua utiliza de forma consuntiva las aguas continentales (derecho de uso del agua en su totalidad, sin tener que devolverla a su caudal), esta actividad está ubicada principalmente en la zona norte y centro, donde la disponibilidad es limitada. Asimismo, 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 siguiente figura muestra la distribución porcentual de la producción de cobre y la distribución porcentual del consumo de agua continental. En términos generales, las regiones de Antofagasta, Tarapacá y Atacama concentran el 74% de la producción de cobre a nivel nacional, mientras que el consumo de agua continental de estas regiones representa el 62%. Por lejos, la región de Antofagasta presenta el mayor consumo de agua, con un 41%, dado que concentra el 54% de la producción de cobre nacional.

Figura 11: Distribución porcentual de la producción de cobre y consumo de agua continental para la producción de cobre, año 2019



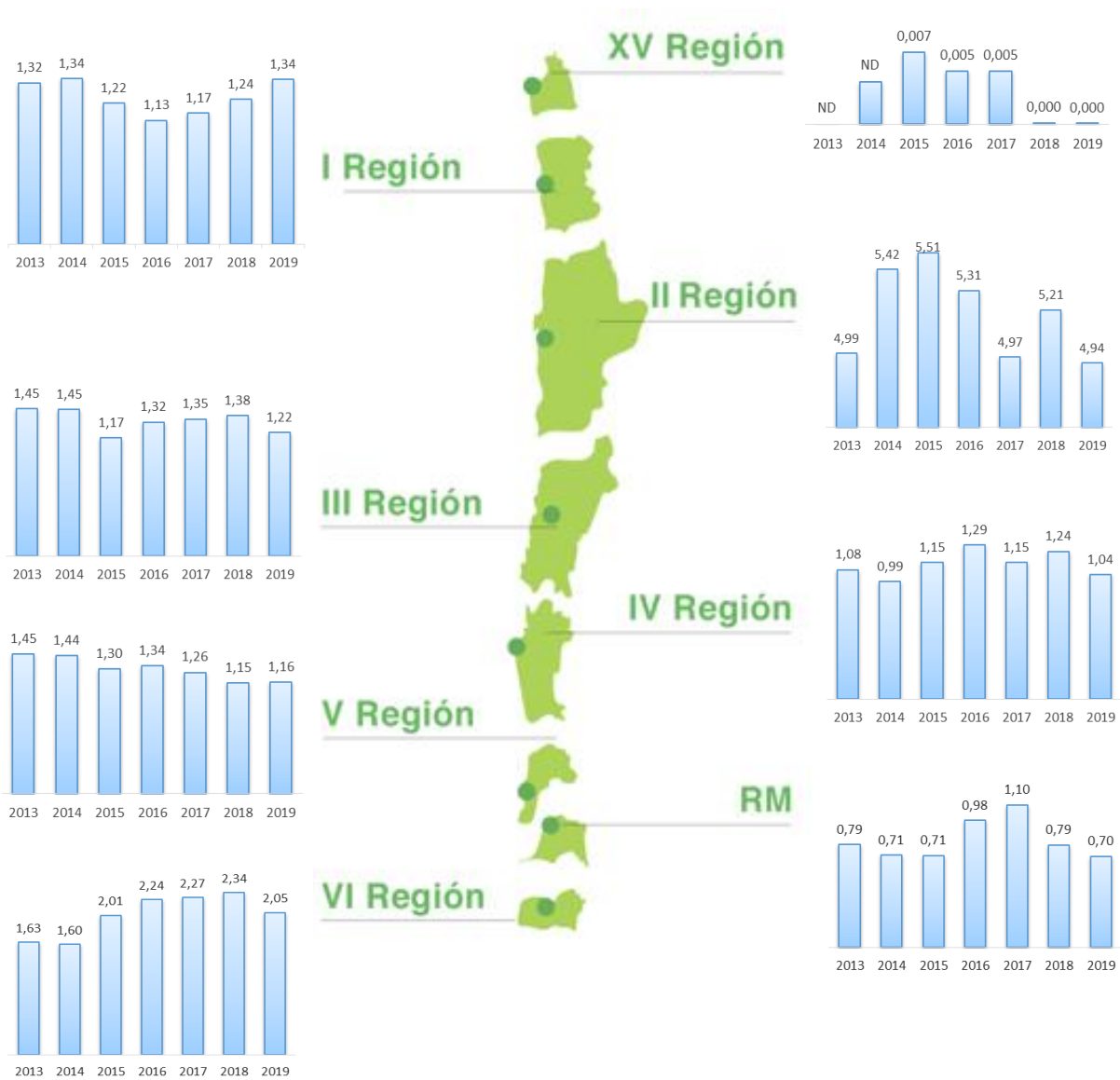
Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



En resumen, la siguiente figura muestra la tendencia en el consumo de aguas continentales para la producción de cobre a nivel regional desde el 2013 al 2019. Como se mencionó previamente, el consumo es liderado por la región de Antofagasta (41%), seguido por la región de O'Higgins (16%), y luego Tarapacá (11%).

Importante mencionar que las regiones de Rancagua, Metropolitana y Valparaíso, las cuales han registrado una sequía importante durante los últimos años, han presentado tendencias decrecientes de consumo en relación a los años anteriores.

Figura 12: Tendencia en el consumo de aguas continentales en la minería del cobre a nivel regional 2013-2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



4.3 Consumo de agua según fuente de abastecimiento

Las fuentes de abastecimiento de agua para la industria minería corresponden a: aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas de mar y aguas adquiridas a terceros. A continuación, se presenta una breve descripción de estas fuentes:

Figura 13: Fuentes de abastecimiento



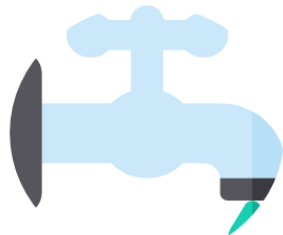
Aguas Superficiales

De acuerdo al artículo 2° del Código de Aguas, son "aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y pueden ser corrientes o detenidas". Las aguas superficiales (como vertientes, esteros, ríos y quebradas, o se encuentran acumuladas en depósitos naturales como lagos, lagunas, pantanos, ciénagas y embalses) se encuentran al alcance del hombre y son fácilmente encauzadas, desviadas y luego aprovechadas en actividades.



Aguas Subterráneas

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



Aguas adquiridas a terceros

Corresponde a flujos de agua obtenida mediante contratos con terceros. Compra de agua directamente a terceros con sus derechos respectivos, de esta manera no se compran los derechos, sino que el agua. Puede ser obtenida de aguas municipales, de sanitarias, entre otros proveedores.



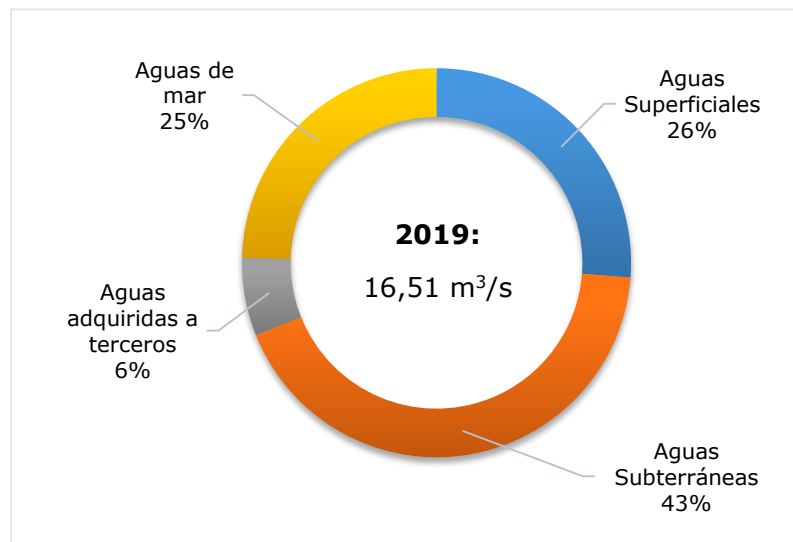
Aguas de Mar

En este punto se hace referencia a toda agua de mar que es extraída desde la costa. Esta tiene dos vías posibles, ya sea utilizada directamente en los procesos o previa desalinización. Es importante destacar que el uso de agua de mar no requiere derechos de agua como es el caso del agua continental.

Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

En términos globales para el 2019, se observa una disminución del 4,8% respecto del año 2018, siendo la extracción de aguas superficiales la que presentó la mayor disminución (-16%). Por otro lado, la mayor fuente de extracción de agua proviene de origen subterráneo, constituyendo el 43% de las extracciones, seguida de las aguas superficiales con un 26%, por su parte las aguas de origen marino llegan al 25%, manteniendo su participación en los últimos años, y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6%.

Figura 14: Distribución porcentual del consumo de agua según fuente de abastecimiento 2019

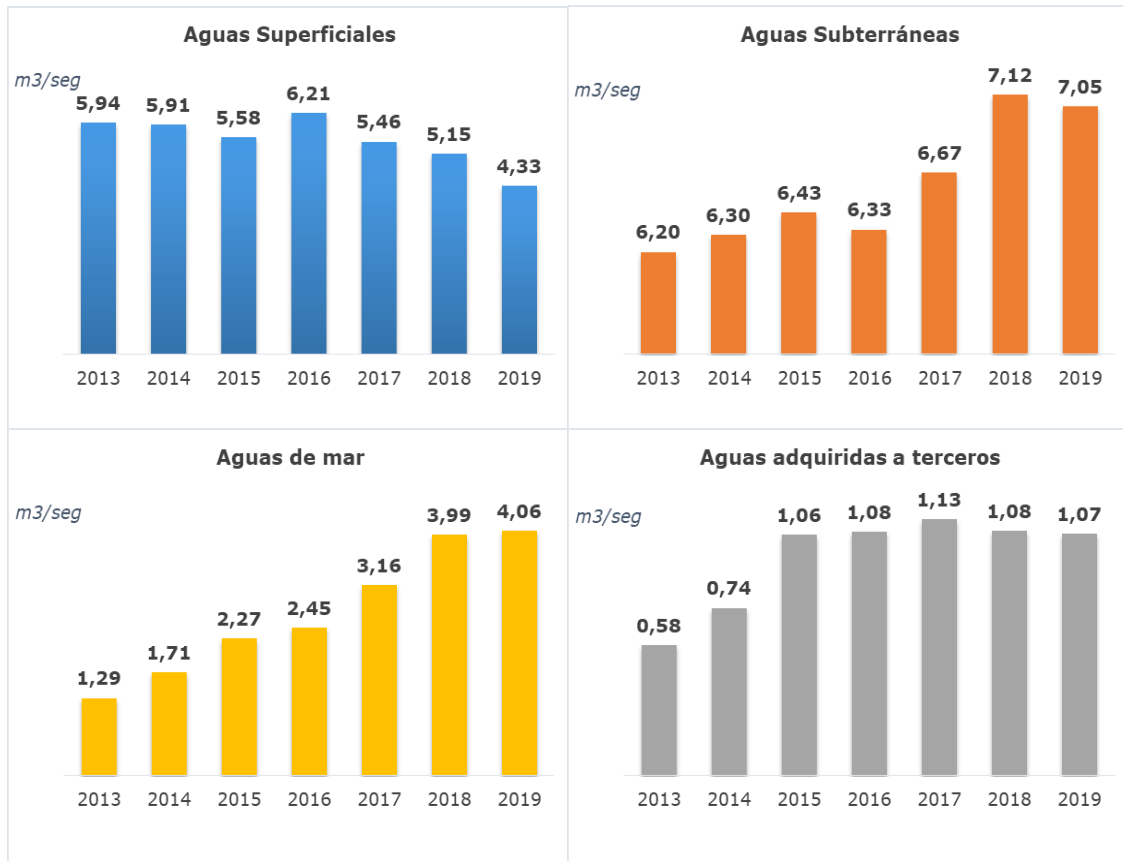


Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

Resulta fundamental, para una adecuada gestión de los recursos hídricos, conocer las distintas variaciones en las fuentes de abastecimiento de agua para la minería del cobre. Por ello, la siguiente figura muestra la tendencia en el consumo de agua según fuente de origen en la minería del cobre desde el año 2013 al 2019.



Figura 15: Evolución extracción de agua por fuente de abastecimiento 2013-2019 (m³/seg)



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

De esta figura se desprende lo siguiente:

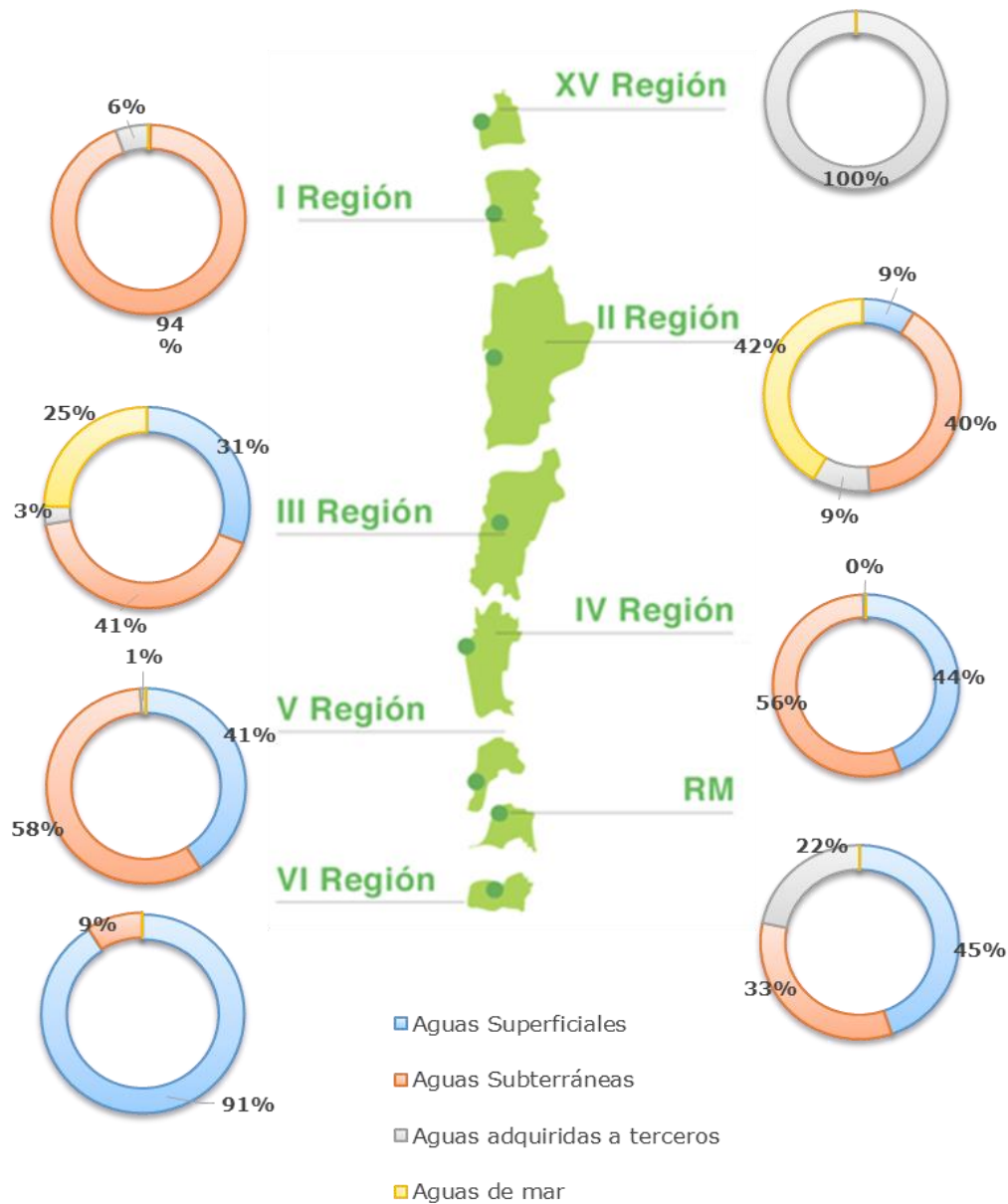
- ✓ Las aguas de origen superficial han disminuido poco a poco, esto principalmente por la escasez del recurso que vivimos a nivel nacional. Especialmente durante el último año presentaron una disminución del 16%, respecto del año 2018.
- ✓ Históricamente las aguas subterráneas han sido la mayor fuente de abastecimiento. No obstante, en relación al año anterior disminuyeron en torno al 1%.
- ✓ Particularmente las aguas de mar han tenido un aumento considerable año a año, respecto del 2018 aumentaron cerca del 2%.



4.3.1 Consumo de agua por región según fuente de abastecimiento

En la siguiente figura, se presenta de manera esquemática el consumo de agua por región, mostrando la distribución porcentual por fuente de abastecimiento para el año 2019. Señalar que las regiones Metropolitana, Coquimbo y O'Higgins fueron las que presentaron mayor disminución respecto del año anterior en relación a la extracción de aguas continentales.

Figura 16: Distribución porcentual del consumo de agua según fuente de abastecimiento en la minería del cobre a nivel regional, año 2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



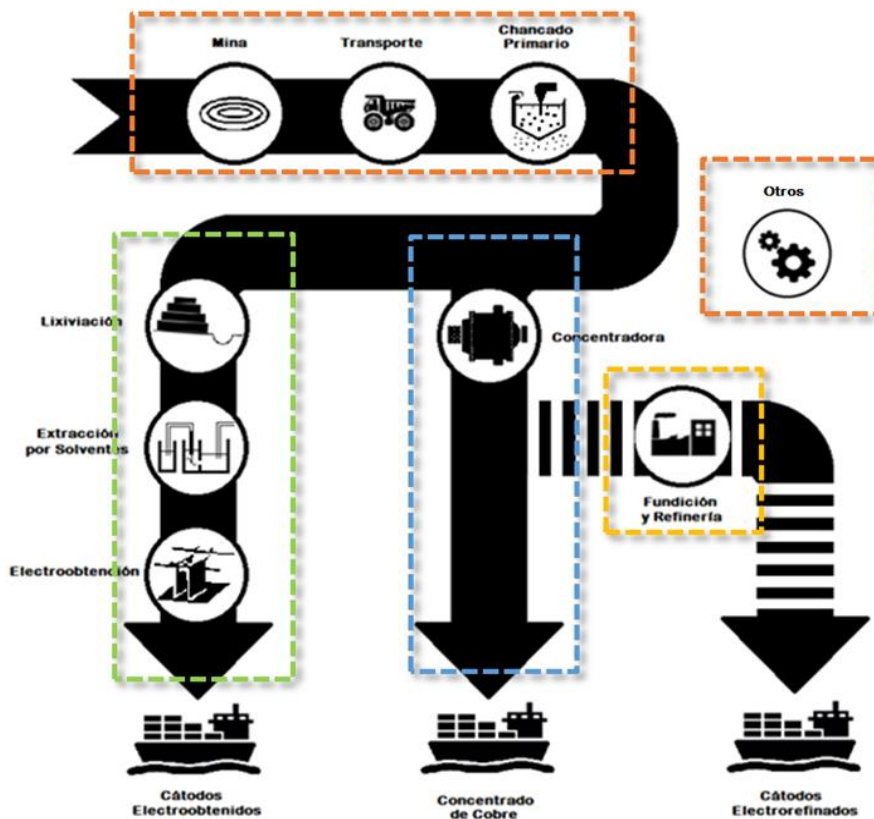
Es posible observar que en la zona norte las aguas provienen principalmente de aguas subterráneas y de origen marino, mientras que en la zona centro y centro sur las aguas provienen de aguas superficiales. Esta realidad se condice con la disponibilidad de recursos hídricos característica de cada zona del país, dicha información permite gestionar y generar políticas orientadas a un mejor uso de los recursos según las necesidades de cada región.

4.4 Consumo de agua por proceso minero

Para el análisis de la información, se identifican y agrupan 5 distintas áreas de consumo de agua de la industria minera del cobre en base al procesamiento de minerales y otras áreas, las cuales se describen a continuación:

- Área mina
- Área planta concentradora
- Área planta hidrometalurgia
- Fundición y refinería
- Cesión o venta a terceros
- Otros/Servicios

Figura 17: Diagrama de bloques de procesos mineros



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



Figura 18: Descripción de los procesos considerados en el informe



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.



Área 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 cominución del mineral, luego la flotación, clasificación y espesamiento. Las aguas residuales de los procesos pueden o no ser recirculadas al proceso desde las lagunas de los depósitos de relaves, como de los procesos de espesamiento y filtrado, entro otros.



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.



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.



Aguas adquiridas a terceros

Corresponde a flujos de agua obtenida mediante contratos con terceros. Compra de agua directamente a terceros con sus derechos respectivos, de esta manera no se compran los derechos, sino que el agua. Puede ser obtenida de aguas municipales, de sanitarias, entre otros proveedores.



Otros

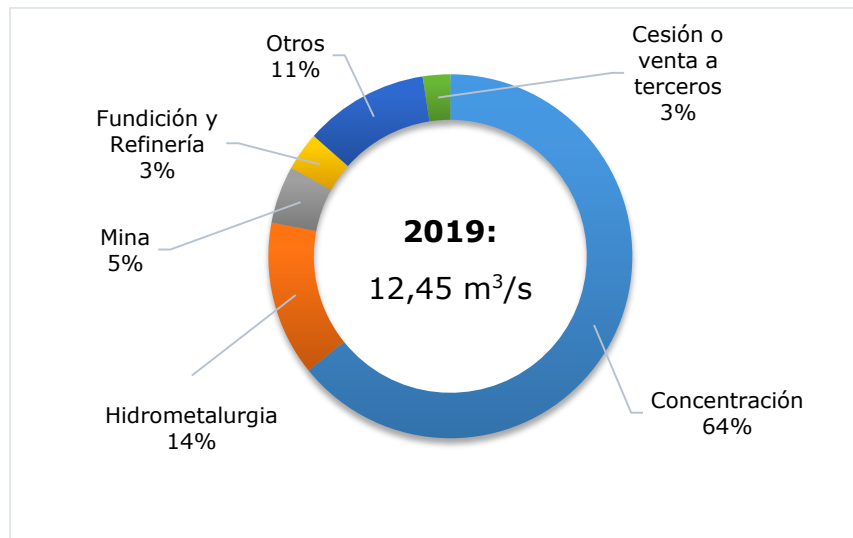
Se agrupan todas aquellas actividades con volúmenes de consumo de agua poco significativos frente al total consumido en una operación minera principalmente para abastecer los servicios. El principal uso del agua es para bebida, cocción, lavado, riego y baños en los campamentos, y otros consumos menores.

Fuente: Elaborado por Cochilco.



Durante el 2019, se utilizaron 12,45 m³/seg de aguas continentales en la minería del cobre, los cuales pueden ser agrupados según su uso de acuerdo a los procesos mineros a los que son destinados el uso del agua, según se presenta a continuación.

Figura 19: Distribución porcentual de las aguas según proceso minero 2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

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 64% del total de aguas continentales utilizadas en la minería del cobre. En segundo lugar se encuentra el consumo asociado al proceso de **hidrometalurgia** para la obtención de cátodos a partir de minerales oxidados, alcanzando un 14% del total de aguas continentales. En tercer lugar se encuentra el ítem **otros** o servicios varios, que durante el 2019 llegó a representar el 11%, en este punto se contabilizan las aguas utilizadas en campamentos, para riego, y otros procesos de menor consumo de agua.

Por otra parte el área **mina** contabilizó un 5% del total, y finalmente el área **FURE** (fundición y refinería) representó el 3% del consumo de aguas continentales.

A continuación, la siguiente figura muestra la tendencia en el consumo de agua por proceso en la minería del cobre desde el año 2013 al 2019.



Figura 20: Evolución consumo de agua por proceso 2013-2019 (m³/seg)



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

Al analizar la variación anual del consumo de agua por proceso minero, de la figura anterior se observa que evidentemente el proceso de concentración para minerales sulfurados se mantiene por lejos como el mayor demandante, siendo el proceso más intensivo en el uso de recursos hídricos.

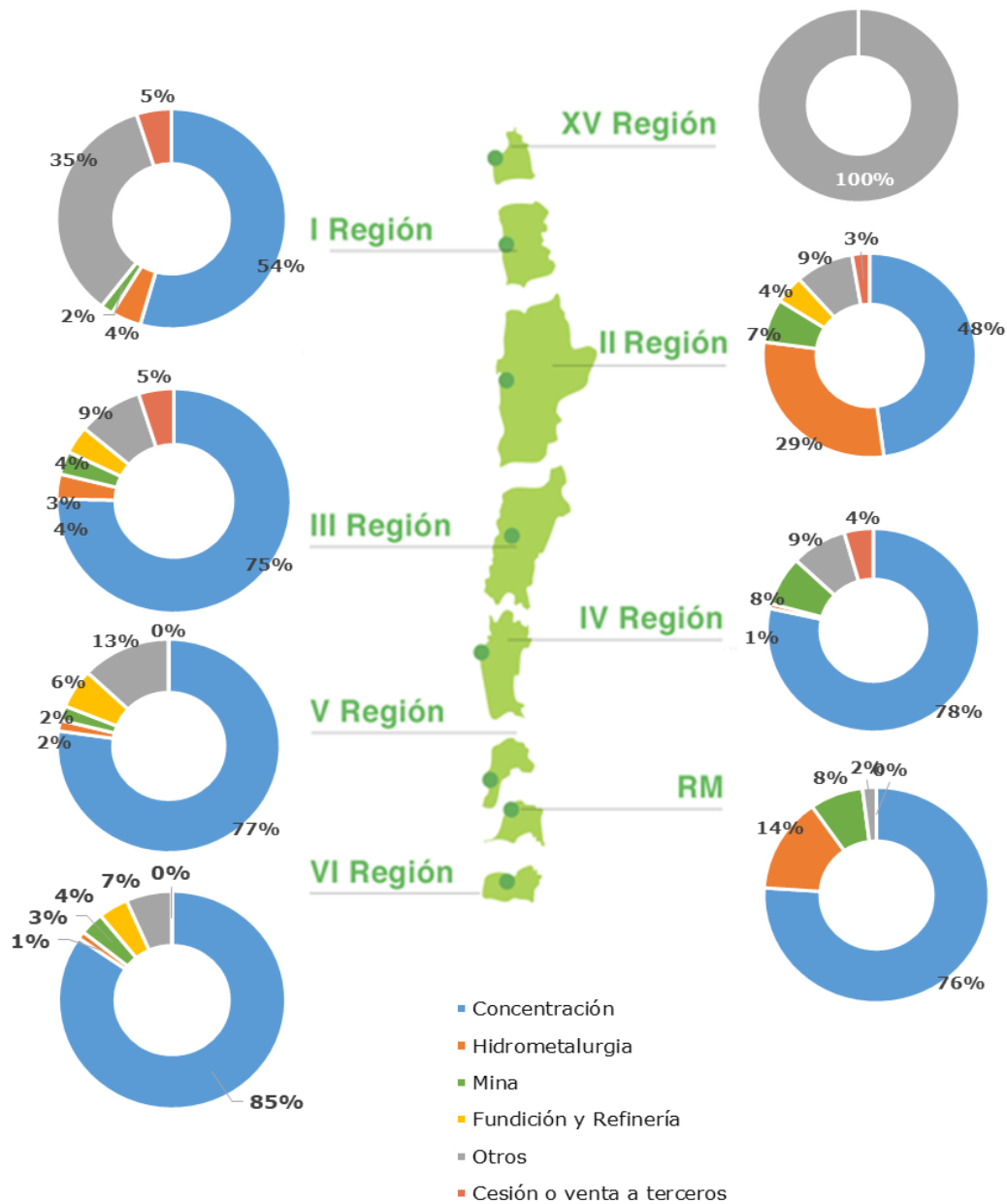
Cada proceso presenta consumos unitarios de agua distintos por diversos factores. En la actualidad se utilizan diversas técnicas para minimizar el consumo y recircular la mayor cantidad de agua posible, de manera de reducir la cantidad de agua continental. Sin embargo, aún persisten pérdidas que si bien han disminuido considerablemente gracias a la tecnología y gestión de las empresas mineras, siguen estando presentes (algunas inherentes en el proceso, como la evaporación desde las lagunas de los tranques de relaves).



4.4.1 Consumo de agua continental por región según procesamiento de minerales

Como parte del análisis de consumo de agua, es necesario analizar que procesos son más influyentes a nivel regional, según se presenta en la siguiente figura:

Figura 21: Distribución porcentual del consumo de agua según proceso en la minería del cobre a nivel regional 2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



Del análisis por proceso minero a nivel regional, se desprende lo siguiente:

- ✓ En todas las regiones, (a excepción de Arica y Parinacota, que es 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 48%, mientras la hidrometalurgia abarca el 29% del uso de aguas continentales. No obstante, en el resto de las regiones el uso de agua continental destinado al proceso de concentración supera el 70% (a excepción de la primera región), alcanzando incluso el 85% en la sexta región.
- ✓ 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.

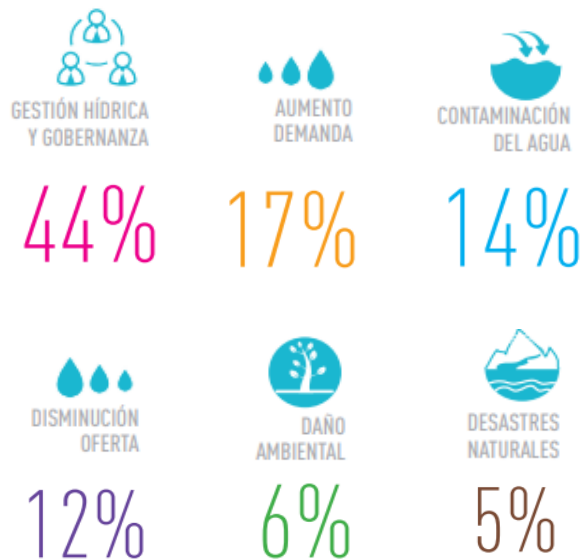


5 Gestión del Agua

La Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership-GWP⁸) ha definido a la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) como un proceso que pretende desarrollar y gestionar de forma coordinada el agua, la tierra y los recursos conexos, tratando de maximizar el bienestar social y económico, de una manera equitativa y sin comprometer el nivel de sostenibilidad de los ecosistemas.

La gestión del agua toma mayor relevancia incluso que la sequía. Como antecedente, de acuerdo a la publicación "Transición Hídrica: el futuro del agua en Chile", en el marco del proyecto Escenario Hídricos 2030, se identificaron 6 principales causas de los problemas que generan la brecha y riesgo hídrico que se repiten en la mayoría de las cuencas analizadas⁹ en este estudio, siendo la principal la deficiente gestión hídrica y gobernanza, representando el 44% de las causas identificadas.

Figura 22: Identificación de las causas a los problemas de brecha y riesgo hídrico.



Fuente: "Transición Hídrica: el futuro del agua en Chile".

⁸ <https://www.gwp.org/>

⁹ Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker

La gestión del agua de una empresa es parte importante de cualquier programa de sustentabilidad y sostenibilidad, durante todo el ciclo de vida de una operación minera. 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, constituyendo señales de alerta que prevengan daños económicos, sociales y ambientales.
- ✓ Herramienta de gestión: para la creación de políticas públicas, ya que son capaces de concentrar la enorme complejidad que existe en nuestro ambiente dinámico, en una cantidad de información manejable, cuantificable, simplificada y comunicable.

A continuación 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.

5.1 Coeficientes unitarios

Reducir la intensidad de uso del recurso hídrico a través de la maximización sus usos es clave para gestionar la eficiencia y rentabilidad del agua. Uno de los indicadores que sirven para gestionar el uso de agua fresca corresponde a los coeficientes unitarios.

5.1.1 Coeficientes unitarios: agua continental por procesamiento de mineral

Los coeficientes unitarios por proceso se definen como la cantidad de agua de origen continental para procesar una tonelada de mineral, y se calcula según:

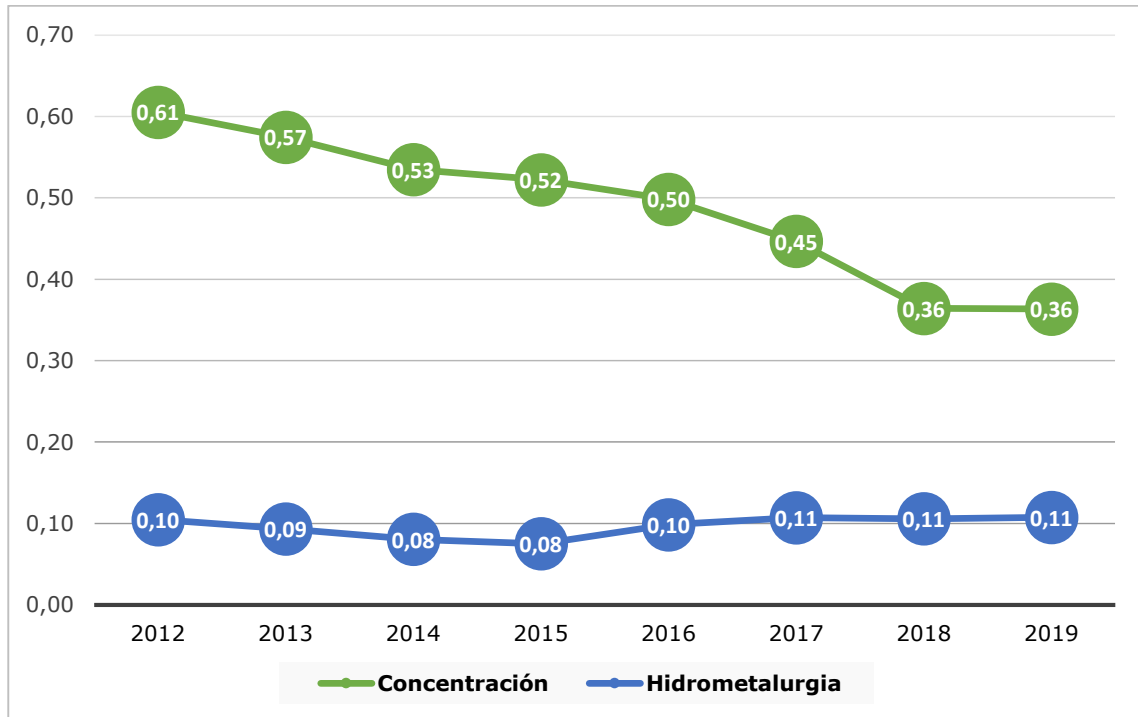
$$\text{Coeficiente unitario}_{\text{concentración/hidrometalurgia}} = \frac{\text{Cantidad de agua de origen continental} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ton}} \right]}{\text{tonelada de mineral procesado}}$$

Es importante señalar que las leyes de 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.



La figura a continuación muestra la evolución de los coeficientes unitarios desde el 2012 al 2019. En el año 2019 el consumo unitario en el proceso de concentración fue de 0,36 m³/ton mineral, en tanto el consumo unitario en el proceso de hidrometalurgia fue de 0,11 m³/ton mineral, al igual que en el año anterior.

Figura 23: Coeficientes unitarios de agua continental según proceso minero a nivel nacional, 2012-2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

De la figura anterior se desprende lo siguiente:

- **En el caso del procesamiento de minerales vía concentración,** se sigue apreciando una fuerte disminución en el coeficiente unitario, incluso se ha mantenido constante en los últimos dos años en los niveles más bajos. Lo anterior se debe principalmente a que, aun cuando 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. Además, considerar que el consumo de agua de mar ha ido en aumento y significa un porcentaje importante como fuente de abastecimiento hoy en día y,



consecuentemente, las fuentes de agua continental ha sido reemplazada por una cantidad de agua de mar.

- **En el caso del procesamiento de minerales vía hidrometalurgia**, el coeficiente unitario se ha mantenido prácticamente estable, sin mayores fluctuaciones, en los últimos años, en torno a 0,10-0,11 m³/ton mineral.

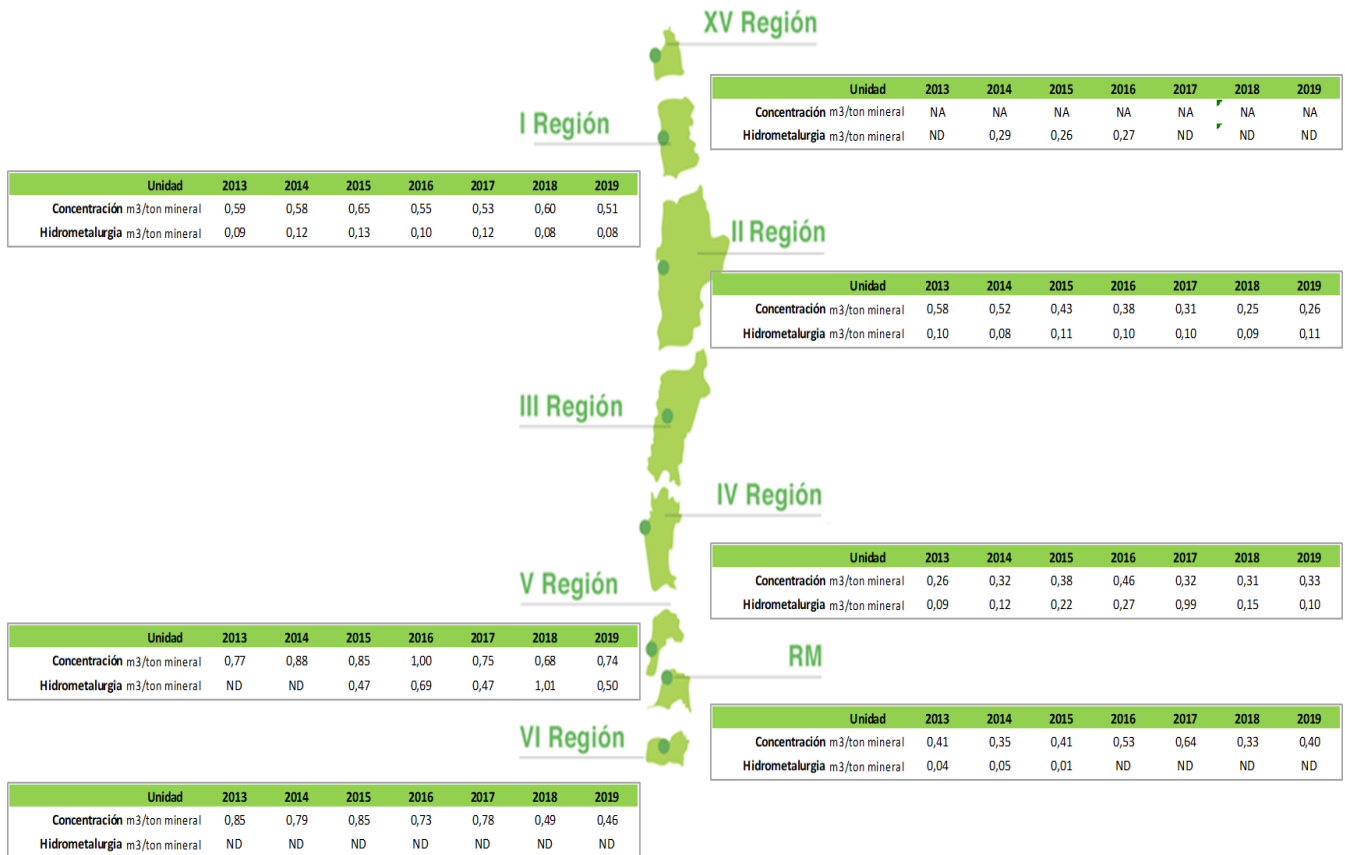
5.1.2 Coeficientes unitarios por región

La siguiente figura muestra la variación de los coeficientes unitarios por región. En síntesis, es posible observar:

- ✓ **Respecto de la concentración**, se observa una constante mejora en las regiones de Antofagasta, Coquimbo y Atacama, reflejado en sus indicadores. Asimismo, en las regiones centrales se observa una mejora en la gestión del recurso, destacando las regiones de O'Higgins y Metropolitana.
- ✓ Es importante resaltar la eficiencia alcanzada en la región de Antofagasta, llegando a los 0,26 m³/ton de mineral procesado en concentradora, por debajo del promedio nacional, siendo además la región que concentra la mayor producción de cobre.
- ✓ Al mismo tiempo destacamos la eficiencia de la región de Coquimbo, que alcanzó los 0,33 m³/ton de mineral procesado en concentradora, siendo una de las regiones más afectadas en relación a las 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 en el procesamiento vía lixiviación.



Figura 24: Coeficientes unitarios en la minería del cobre por región 2013-2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

5.1.3 Coeficientes unitarios según tamaño de minería

Para el análisis de coeficientes unitarios, se considera la 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 valor. La pequeña minería o minería artesanal solo hemos logrado cuantificarla a través de Enami, por lo cual es imposible individualizarla como tal.

El tamaño puede influir en la eficiencia en el uso del recurso, como se observa en la siguiente tabla en relación a los coeficientes unitarios de agua continental por mineral procesado para cada proceso y clasificado en Gran y Mediana Minería, según la escala de producción.



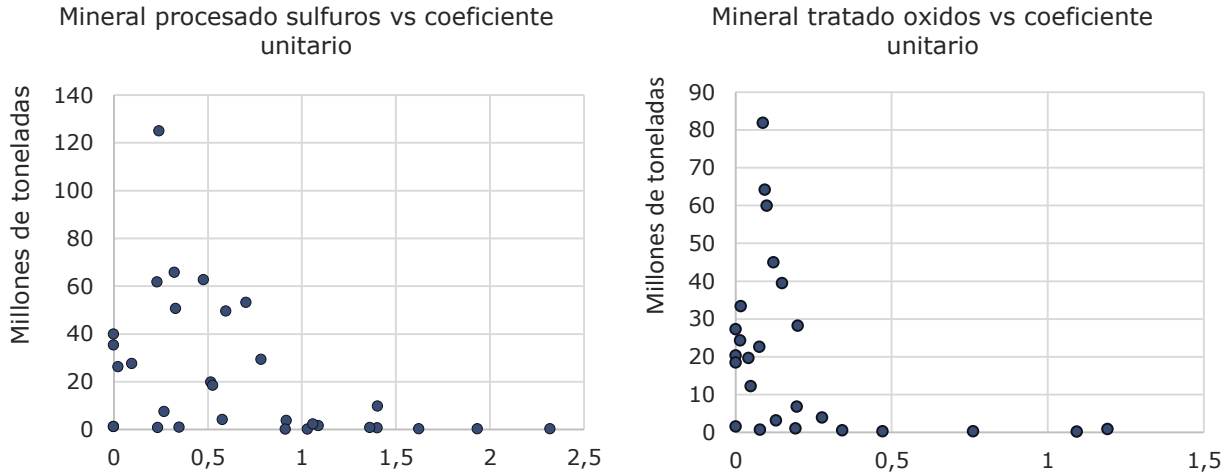
Tabla 1: Coeficientes unitarios en la minería del cobre según tamaño de la operación 2013-2019

Concentración	Unidad	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GRAN MINERÍA	m ³ /ton mineral	0,57	0,53	0,50	0,49	0,44	0,36	0,36
MEDIANA MINERÍA	m ³ /ton mineral	0,85	0,59	0,89	0,73	0,65	0,40	0,40

Hidrometalurgia	Unidad	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GRAN MINERÍA	m ³ /ton mineral	0,10	0,08	0,07	0,09	0,10	0,10	0,11
MEDIANA MINERÍA	m ³ /ton mineral	0,06	0,15	0,25	0,27	0,25	0,40	0,13

Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

Figura 25: Mineral procesado vs coeficientes unitarios



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

Según el análisis previo y resultados generales, es posible señalar que el tamaño de las operaciones influye en la eficiencia hídrica, 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.

No obstante, es importante destacar el uso de agua de mar en algunas operaciones de mediana minería para la obtención de cátodos, permitiendo un uso eficiente de los recursos hídricos.



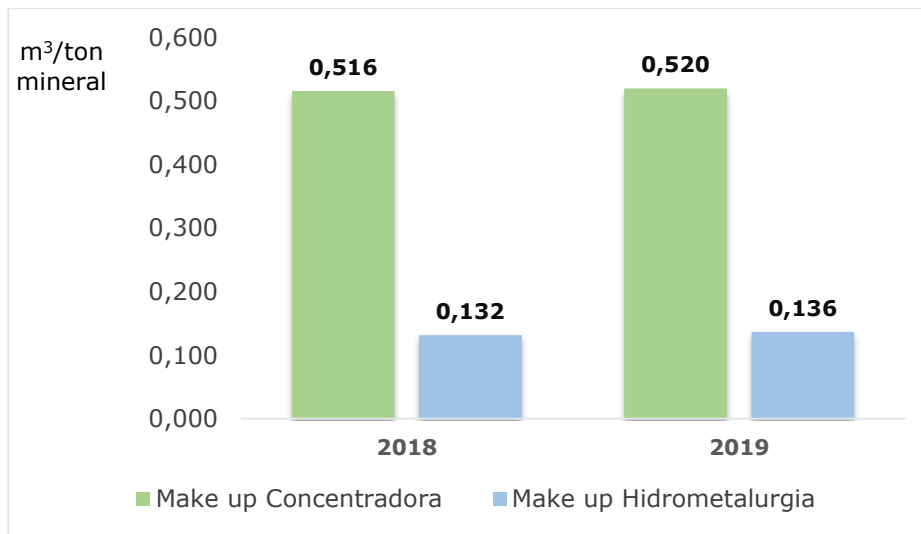
5.2 Make up por proceso

Este indicador permite estimar la eficiencia del proceso en materia de recursos hídricos. Considera la cantidad de agua que debe entrar el proceso **independientemente** del origen hídrico (aguas continentales, agua de mar) para procesar una tonelada de mineral, excluyendo las aguas recirculadas.

$$Make\ up_{concentración/hidrometalurgia} = \frac{Cantidad\ de\ agua}{tonelada\ de\ mineral\ procesado} \left[\frac{m^3}{ton} \right]$$

Este indicador comenzó a incluirse en este informe desde el 2018, dada la importancia que ha tomada el uso de agua de mar en la industria minera y así reflejar la eficiencia en los procesos independiente de las fuentes hídricas. Debido a lo reciente de su inclusión, es un dato aún en proceso de maduración y revisión, no contando aún con una validación completa como para ser convertido en un indicador estadístico.

Figura 26: Make up por proceso, 2018-2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

Tabla 2: Make up por proceso, 2018-2019

	Unidades	2018	2019	Var 2018-2019
Concentradora	m³/ton mineral	0,516	0,520	0,7%
Hidrometalurgia	m³/ton mineral	0,132	0,136	3,6%
razón C/H		3,9	3,8	



De la figura es posible señalar que entre el 2018 y el 2019 el *make up* para ambos procesos se ha mantenido prácticamente constante. Evidentemente, el *make up* en los procesos de concentración es mayor que en los procesos de hidrometalurgia, siendo casi 4 veces superior.

Si bien el concepto existe en la industria, éste no había sido catastrado por Cochilco, ya que en los informes del consumo de agua en minería previos se proporcionó un mayor enfoque al uso de agua de origen continental. No obstante, dada la importancia que ha tomado 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.

5.3 Porcentaje de Recirculación

Otro indicador clave en la gestión de los recursos hídricos en la minería del cobre corresponde al porcentaje de recirculación. Los excedentes de agua del procesamiento de minerales 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. Como resultado, 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.

5.3.1 Recirculación en operaciones

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:

$$\text{Recirculación}_{total} = \frac{\text{total de aguas recirculadas en la operación}}{\text{flujo total de aguas que ingresan a la operación}} [\%]$$

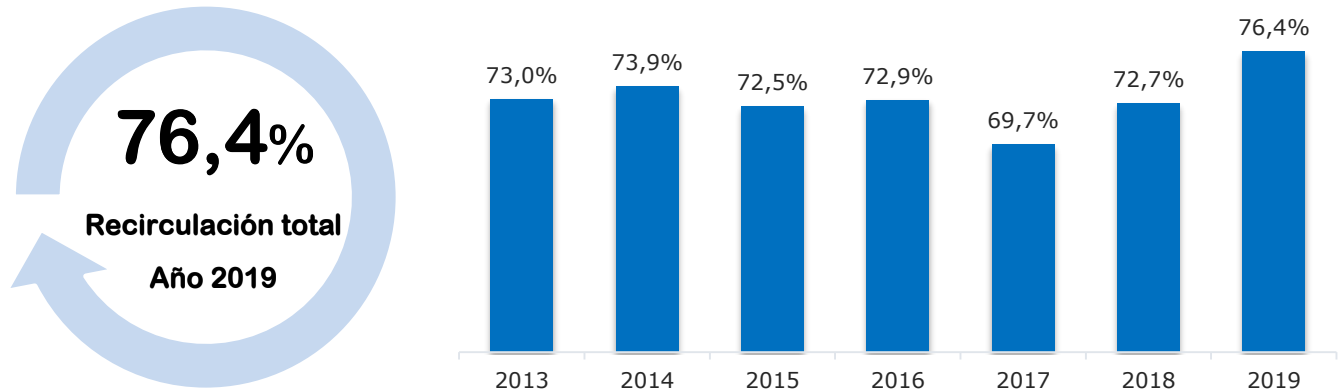
A nivel nacional la tasa de recirculación en las faenas para el 2019 es de un 76,4%, ponderado según la producción de cada región. Este valor presentó un aumento del 5% respecto del 2018, lo cual da cuenta de la gestión realizada por las empresas mineras en potenciar la cantidad de aguas recirculadas desde sus procesos.

En el caso de los minerales de sulfuros, al maximizar la recirculación desde los tranques de relaves y espesadores, así como también, regulando los C_p de operación de los mismos, 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.

Figura 27: Tendencia en la tasa de recirculación en operaciones de la minería del cobre 2013-2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020

5.3.2 Recirculación en planta concentradora

Este indicador 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:

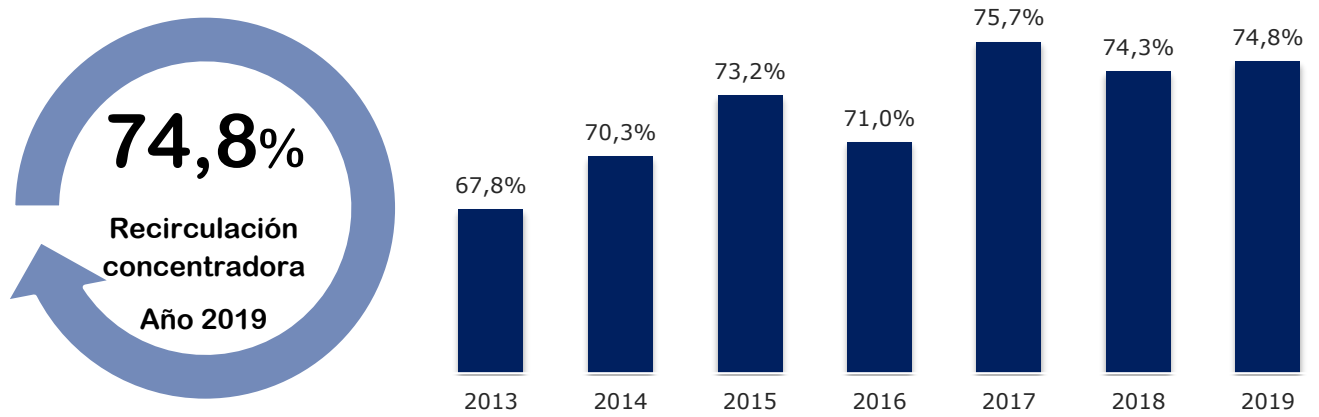
$$\text{Recirculación}_{\text{concentración}} = \frac{\text{total de aguas recirculadas en el proceso de concentración}}{\text{flujo total de aguas utilizadas en la planta concentradora}} [\%]$$

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 74,8%, representando un aumento del 0,6% respecto del 2018, lo cual muestra la gestión de las empresas mineras en seguir fomentando la cantidad de aguas recirculadas desde la planta concentradora.



Figura 28: Tendencia en tasa de recirculación en concentradora de la minería del cobre 2013-2019



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



6 Agua de mar en minería

6.1 Contexto

El uso de agua de mar y la desalinización es una tecnología usada por diversos países a nivel mundial, siendo un apoyo a resolver la crisis mundial del agua.

Actualmente existen alrededor de 20.000 plantas desaladoras/desalinizadoras operando en el mundo¹⁰, de diferentes envergaduras y con distintos procesos de obtención, para usos industriales, agricultura y consumo humano. A nivel mundial las tecnologías para desalinización están lideradas por la Ósmosis Inversa (OI¹¹).

Los países líderes en desalación son los del Medio Oriente: Arabia Saudita y Emiratos Árabes, región que no cuenta con fuentes naturales de agua dulce para dar respuesta a la demanda industrial ni de sus habitantes. Por su parte, en Europa, la experiencia española ha hecho que las empresas de este país sean líderes a nivel mundial en esta tecnología. La mayor planta desalinizadora del mundo, la de Ras Al-Khair, en Arabia Saudita, tiene una capacidad de 1.040.000 m³/día¹².

A nivel regional, Chile es el país de América Latina con mayor capacidad de desalinización, tecnología ligada sin duda a la expansión de la minería que necesita agua en el desierto del norte del país.

Tabla 3: Plantas operativas y capacidad de desalinización en Chile

Región	N° plantas (minerías e industrial)	N° plantas agua potable	N° total	Capacidad Total	Participación %
Arica	-	1	1	412	7,3%
Tarapacá	-	1	1	9	0,16%
Antofagasta	10	4	14	3.969,8	70,3%
Atacama	3	-	3	1.220,0	21,6%
Coquimbo	-	1	1	5,6	0,10%
Valparaíso	1	1	2	28,1	0,50%
Aysén	-	1	1	2,8	0,05%
Total	14	9	23	5.647,3	100%

Fuente: DGA, Ministerio de Obras Públicas, marzo 2020.

¹⁰ Aladyr, 2019. Asociación latinoamericana de desalación y reúso de agua.

¹¹ El proceso de desalación de agua de mar a través de ósmosis inversa consiste en quitar las sales al agua, ya sean componentes químicos, físicos o iones.

¹² GWI/DesalData



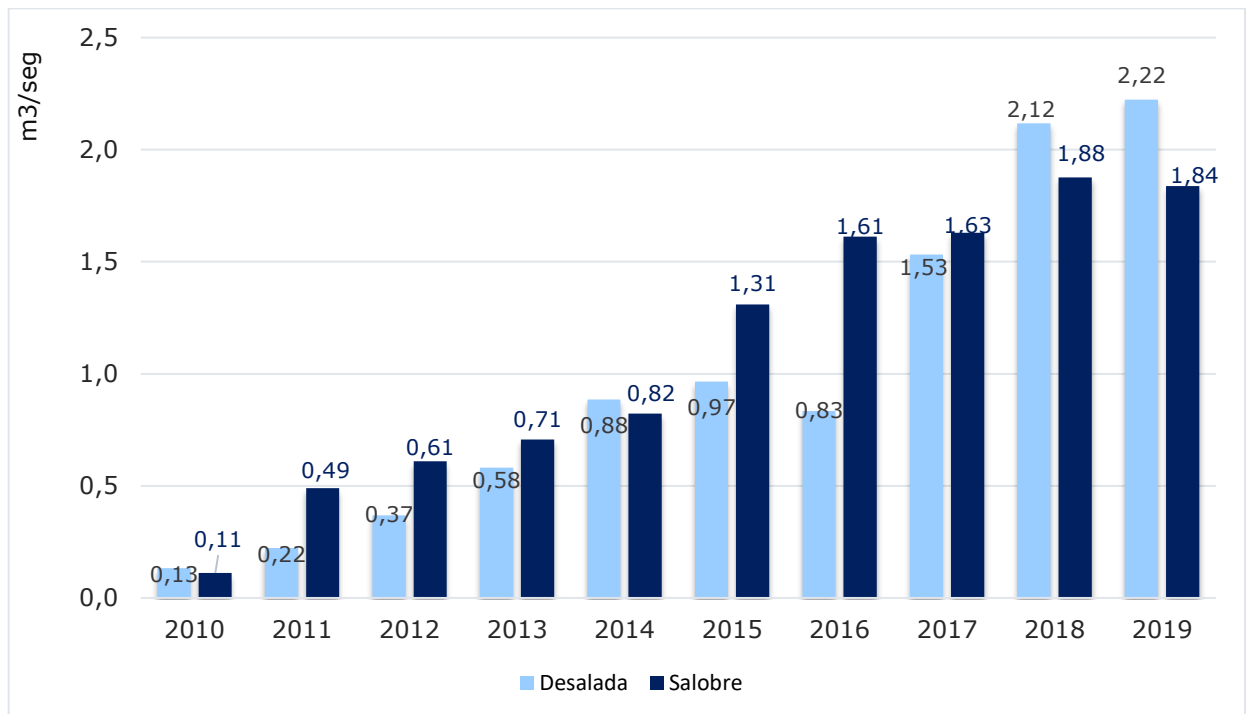
6.2 Uso de agua de mar en minería en Chile

En Chile, la menor disponibilidad de agua en el país y la crisis hídrica en la zona norte donde se concentra la actividad minera, ha motivado a las empresas mineras a buscar nuevas fuentes de abastecimiento para asegurar la producción y a su vez, mantener distintas propuestas de valor ante sus comunidades. Lo anterior, ha llevado a las empresas mineras a la utilización del agua de mar en sus procesos, siendo el sector con mayor aprovechamiento de este recurso, impulsando además una creciente mejora en las tecnologías de impulsión del recurso hídrico.

Bajo este concepto, el uso de agua de mar, salada o de uso directo, 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 siguiente figura muestra la evolución del consumo de agua de mar en la minería del cobre desde el año 2010 al 2019, con una tasa de crecimiento promedio anual del orden de 43%.

Figura 29: Uso de agua de mar en la minería del cobre 2010-2019 (m³/seg)



Fuente: Elaborado por DEyPP, Cochilco 2020



Al 2019 el agua de mar en la minería del cobre alcanzó los 4,06 m³/seg, que representa un 25% del agua utilizada en minería según fuente de abastecimiento, de los cuales 1,84 m³/seg corresponden a agua de mar utilizada directamente en los procesos con un alto contenido de sal, mientras que 2,22 m³/seg es de agua previamente desalinizada. Respecto del 2018, el uso de agua de mar aumentó en 1,7%. Cabe mencionar que el consumo de agua de mar se concentra en las regiones de Antofagasta y Atacama, representando el 90% y 10%, respectivamente.

Al utilizar agua desalinizada o agua directa de mar se liberan recursos de agua continental que pueden ser requeridos por otros usuarios. 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.

6.3 Operaciones y nuevos proyectos de agua de mar

La búsqueda de opciones para enfrentar la estrechez hídrica ha llevado a las empresas a privilegiar el uso de agua de mar y la construcción de plantas desalinizadoras.

Considerando la importancia que tiene y tendrá el uso de agua de mar en la industria minera del cobre, se muestra 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. Actualmente existen 14 plantas que están asociadas a operaciones mineras y 14 potenciales proyectos en carpeta.

Importante subrayar dentro de los nuevos proyectos, el de Enapac, de la Corporación Nacional del Cobre, Codelco, y el de Spence, debido a su envergadura.

- **Proyecto Enapac (Energías y Aguas del Pacífico)**

Consiste en un proyecto de desalinización de agua de mar autosustentable para Atacama que se abastecerá con energía fotovoltaica. ENAPAC considera la planta desaladora más grande de Chile y Latinoamérica, por su capacidad máxima de 2.630 l/s, y será también la primera multicliente orientado a abastecer a varios clientes de la región, la única a gran escala con energía solar (100MW) y uno de los proyectos más avanzados del mundo con combinación de desalinización por osmosis inversa y energía fotovoltaica. Considera una inversión inicial aproximada de USD500 millones.



- **Proyecto Codelco-Chile¹³ (Planta desaladora Distrito Norte)**

El proyecto considera una planta de desalinización de agua de mar con una capacidad de diseño inicial de 840 l/s, con potencial de expansión a 1.956 l/s, que incluye las obras marítimas, un sistema de impulsión de agua que recorrerá más de 160 kilómetros para bombear el agua a más de 3.000 metros de altura. El trazado de las tuberías se iniciará al sur de la ciudad de Tocopilla y llegará al reservorio de agua industrial para el suministro de agua desalinizada en la División Radomiro Tomic. El proyecto contempla suministrar agua a las divisiones Chuquicamata, Radomiro Tomic y Ministro Hales, lo que permitirá a la empresa incrementar, de manera paulatina, el uso de agua de mar respecto del uso de agua cordillerana en Calama.

- **Planta Desaladora de Spence¹⁴ (Proyecto SGO)**

El Proyecto tiene como objetivo la producción de agua desalinizada para abastecer los requerimientos futuros de Minera Spence y de terceros que puedan requerirla, para lo cual se contempla la construcción y operación de una planta desalinizadora con una capacidad de producción de hasta 1.600 l/s, que se localizará en la localidad de Mejillones. El Proyecto será construido en 2 etapas. La primera considera la materialización de las obras necesarias para la producción y conducción de 800 l/s de agua desalinizada para abastecer los requerimientos del proyecto "Minerales primarios Minera Spence". La segunda etapa contempla obras para la producción adicional de hasta 800 l/s de agua desalinizada para abastecer otras iniciativas de Minera Spence, BHP Billiton y/o terceros usuarios.

¹³ <https://www.codelco.com/>

¹⁴ <https://seia.sea.gob.cl/>

Tabla 4: 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)
HALDEMAN	Michilla	Antofagasta	Operando	75	23	
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	20	5	8
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	Operando	-	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 ⁽¹⁾	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 ⁽²⁾	-	180
LUNDING MINING	Candelaria 2030 - continuidad operacional	Atacama	Operando	agrega 200 (3)	-	110

⁽¹⁾ Proveniente de la planta de Distrito Centinela

⁽²⁾ EWS y Colosos corresponde a operación de impulsión de agua de mar

⁽³⁾ 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 5: 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)
2021	ANTOFAGASTA MINERALS	Proyecto de Infraestructura Complementaria (INCO)	Coquimbo	Construcción	400 ⁽⁴⁾	-	150
2024	CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	30	400	112
2023	COPEC	Diego de Almagro	Atacama	Factibilidad	-	315	61
2021	BHP BILLITON	Spence Growth Option	Antofagasta	En Construcción	800 (potencial de 1.600)	-	154
2022	MANTOS COPPER	Desarrollo Mantoverde	Atacama	En Construcción	agrega 260 ⁽⁵⁾	-	42
2023	TECK	Quebrada Blanca Hipógeno o QB2	Tarapacá	En Construcción	850 (potencial de 1.200)	-	160
2023	CODELCO-CHILE	Planta desaladora Distrito Norte	Antofagasta	Factibilidad	840 (potencial 1.956)	-	160
2024	COLLAHUASI	Collahuasi	Tarapacá	Factibilidad	525 (potencial 1.050) ⁽⁶⁾	-	195
2025	ANTOFAGASTA MINERALS	Distrito Minero Centinela (Esperanza Sur y Encuentro Sulfuros)	Antofagasta	Factibilidad	-	1650 ⁽⁷⁾	145
Sin información	ANTOFAGASTA MINERALS	Distrito Minero Centinela (reemplazo acueducto existente)	Antofagasta	Factibilidad	-	850 ⁽⁷⁾	145
2027	FREEPORT McMORAN	Concentradora El Abra	Antofagasta	Sin EIA	500	-	
Multiclientes							
2022	ENAPAC (Energías y Aguas del Pacífico).		Atacama	Aprobado y en factibilidad	2630		
Hipotéticos							
2028	NEWMONT GOLDCORP y TECK	NuevaUnión	Atacama	Factibilidad	700	-	

Fuente: Cochilco en base a información pública.



(4) *Proyectándose su uso como respaldo en períodos de sequía.*

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

(6) *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.*

(7) *Nuevo acueducto paralelo y de reemplazo al existente.*

6.4 Desafíos en relación al uso de agua de mar y desalinización en minería

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. 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.

Si bien esta alternativa de uso de agua de mar y plantas desaladoras ha sido de gran ayuda frente al escenario de escasez hídrica y a la disponibilidad de agua para las operaciones mineras, contribuyendo además a desestresar las fuentes de aguas continentales, se deben considerar los desafíos que este tipo de tecnologías conllevan:

- 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 principal desafío que tenemos en Chile es que desde el mar hasta la ubicación de las faenas el agua debe ser impulsada a más de 2000 m.s.n.m. y la longitud de las tuberías de transporte de agua miden entre 150-200 km, lo cual demanda un alto consumo energético. El uso de agua de mar no está sólo relacionado con la desalinización sino que con el transporte hasta las faenas mineras.
- 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.
- Lo anterior, pone de manifiesto 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.



- Igualmente 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 desde el punto de vista económico, social y/o ambiental. La localización de las operaciones es vital en el análisis, pues no todas pueden abastecerse de agua de mar.
- Aunque la desalinización puede proporcionar un suministro supuestamente ilimitado y seguro, independiente del clima, existen desafíos específicos para aprovechar el potencial del agua desalinizada, como lo son los impactos ambientales. De acuerdo al estudio "*El estado de la desalación y la producción de salmuera: una perspectiva global*" publicado en el 2019, plantea la preocupación ambiental en relación al gran volumen de salmuera producida en el proceso de desalinización, el cual 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 y aplicar dichas investigaciones para convertir un problema ambiental en una oportunidad (Jones & Qadir, 2019).
- Si bien el agua de mar es una fuente segura y aparentemente 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 positivas desde el punto de vista económico que permitirían reducir los costos y desde el punto de vista ambiental en cuanto a la reducción y mitigación de los impactos ambientales, aportando soluciones no solo para la minería sino también para otros sectores con plantas que abastezcan a diferentes clientes, en base a la demanda futura de estos , aprovechando economías de escala, y así lograr un diseño lo más eficiente posible, desde el punto de vista de infraestructura compartida y no de forma de lineal (un sistema de impulsión por operación minera). De materializarse los proyectos en carpetas, se estimarían alrededor de 27 sistemas de impulsión de agua lineales (considerando los existentes) en el norte de nuestro país. Una mirada de gestión territorial y planificación regional es indispensable.



7 Conclusiones y Comentarios finales

En términos específicos, al analizar los resultados de la presenta actualización, el consumo de agua continental para el 2019 alcanzó los 12,45 m³/seg. Si comparamos con el año 2018, es posible observar que en términos desagregados, las aguas continentales presentaron una disminución del 6,8%, las aguas de mar y las aguas recirculadas presentaron un aumento del 1,7% y del 15%, respectivamente. En cuanto a la disminución de las fuentes continentales, se debe principalmente a una disminución en el consumo de las fuentes superficiales en un 16%, así como también, a la disminución en el procesamiento de minerales, tanto vía concentración e hidrometalurgia, al aumento en la recirculación y al uso de agua de mar. Por su parte, al evaluar el desempeño durante el año 2019 en el relación a la gestión hídrica, 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, valores similares en comparación al 2018.

Estos resultados señalan que las empresas mineras han estado desarrollando diversas iniciativas para mejorar el rendimiento de agua, por lo cual se observa una evolución positiva de estos indicadores de gestión hídrica, especialmente en la recirculación del agua, cuyo indicador ha aumentado en los últimos años, y en cuanto al uso de las aguas continentales. A su vez, el uso de agua de mar está siendo una alternativa real como fuente de abastecimiento en la minería, no obstante que esté provista de desafíos e impactos en su manejo.

Sin embargo, dado el escenario de escasez hídrica a nivel mundial en el cual Chile no está ajeno, el desafío en materia de gestión hídrica en permanente en la industria, considerando que las operaciones mineras se concentran en la zona norte del país además de la demanda de los distintos usuarios del recurso continúa creciendo: comunidades, agricultura, entre otros. 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 otro lado, desde el punto de vista de la industria minera, 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.



Dado lo expuesto, es posible señalar las siguientes oportunidades y desafíos, tanto a nivel país como en el sector minero propiamente tal:

- **Seguridad Hídrica:** la Mesa Nacional del Agua (2020) consensuó que el país se enfrenta a tres principales desafíos en materia de aguas, siendo el primero "Seguridad hídrica", la cual es definida como la provisión confiable y oportuna de agua en cantidad y calidad, primero para el consumo humano y luego para la conservación de los ecosistemas hídricos y la producción de bienes y servicios.
- **Gestión Hídrica y eficiencia:** según lo señalado en el Informe de Transición Hídrica, la principal causa de los problemas que generan la brecha y riesgo hídrico corresponde a de la deficiente gestión hídrica y gobernanza, representando el 44% de las causas identificadas, y en relación a la disminución de oferta de agua se le atribuye sólo un 12% de las causas. Por ello juega un papel fundamental el apuntar hacia una gestión hídrica más integral, con todos los actores y usuarios de los recursos, analizando como base la eficiencia de los sistemas hídricos actuales.
- **Estrategia de infraestructura compartida y uso de agua de mar:** Si bien el agua de mar es una fuente segura y aparentemente 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 positivas desde el punto económico que permitirían reducir los costos y desde el punto de vista ambiental en cuanto a la reducción y mitigación de los impactos ambientales, 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, desde el punto de vista de infraestructura compartida y no de forma de lineal (un sistema de impulsión por operación minera).

Asimismo, el uso de agua de mar y desalinización en minería presenta oportunidades en cuanto al desarrollo de nuevas tecnologías, en membranas por ejemplo, con el propósito de hacer más eficiente este tipo de tecnología.



Además, si bien es la industria minera es la que está usando de forma creciente la desalación para incorporar agua de mar a sus faenas, también tiene aplicaciones para la transformación en agua potable para el consumo humano y en forma incipiente, de forma tal de extrapolar esta experiencia en el campo de la agricultura.

Por último, es importante señalar que actualmente el Ministerio de Minería se encuentra liderando el Política Nacional Minera 2050 que busca establecer directrices para potenciar la minería como motor de desarrollo sostenible de Chile, siendo uno de los desafíos la gestión hídrica.



8 Referencias

- Busch, M., & Mickols, W. E. (2004). *Reducing energy consumption in seawater desalination*. *Desalination*, 165, 299-312.
- DGA. (2017). *Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417*. Ministerio de Obras Públicas. Santiago: Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Escenarios Hídricos 2030, (2019) "*Transición Hídrica: el futuro del agua en Chile*".
- Fundación Chile. (2019). *Transición Hídrica: El Futuro del Agua en Chile*. Santiago, Chile.
- ICMM . (2017). *Guía práctica para una presentación coherente de informes sobre el agua*.
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T., Smakhtin, V., & Kang, S. M. (2019). *The state of desalination and brine production: A global outlook*. *Science of the Total Environment*, 657, 1343-1356.
- Mesa Nacional del Agua (2020). *Primer Informe*, Ministerio de Obras Públicas, MOP, https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf
- 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.
- Totten, G. E., Funatani, K., & Xie, L. (2004). *Handbook of metallurgical process design*. CRC press.
- WRI (2019). Water Resources Institute, *Water Risk Atlas*, Data base Aqueduct. www.wri.org/



9 Anexos

Anexo I: 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	2019	Var 2018-2019
Concentración	lts/seg	8.724	9.144	8.856	9.190	9.079	8.947	9.201	9.708	8.902	8.085	7.995	-1%
Hidrometalurgia	lts/seg	2.184	1.856	1.778	1.384	1.751	1.705	2.008	1.930	1.845	1.729	1.693	-2%
Mina	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	675	637	-6%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	566	551	523	640	539	518	426	-18%
Otros	lts/seg	1.362	1.651	1.930	1.804	1.324	1.748	1.339	1.337	1.978	2.082	1.396	-33%
Cesión o venta a terceros	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	269	304	13%
TOTAL PAÍS	lts/seg	12.270	12.651	12.564	12.379	12.719	12.951	13.072	13.614	13.264	13.358	12.451	-0,07

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	2019	
Concentración	%	71,1%	72,3%	70,5%	74,2%	71,4%	69,1%	70,4%	71,3%	67,1%	60,5%	64,2%	
Hidrometalurgia	%	17,8%	14,7%	14,1%	11,2%	13,8%	13,2%	15,4%	14,2%	13,9%	12,9%	13,6%	
Mina	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,1%	5,1%	
Fundición y Refinería	%	-	-	-	-	4,4%	4,3%	4,0%	4,7%	4,1%	3,9%	3,4%	
Otros	%	11,1%	13,1%	15,4%	14,6%	10,4%	13,5%	10,2%	9,8%	14,9%	15,6%	11,2%	
Cesión o venta a terceros	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0%	2,4%	

EXTRACCIÓN DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE SEGÚN FUENTE DE EXTRACCIÓN													
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var 2018-2019
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	5.867	5.942	5.908	5.577	6.206	5.463	5.153	4.328	-16,0%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	5.749	6.200	6.302	6.430	6.332	6.667	7.122	7.053	-1,0%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	763	577	742	1.064	1.077	1.133	1.083	1.069	-1,2%
Aguas de mar	lts/seg	316	243	713	978	1.287	1.707	2.275	2.446	3.162	3.993	4.062	1,7%

USO DE AGUA DE MAR EN LA MINERÍA DEL COBRE													
Año	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var 2018-2019
Desalada	lts/seg	180	132	223	369	581	885	965	834	1.532	2.117	2.224	5,0%
Salobre	lts/seg	136	111	490	609	706	822	1.309	1.612	1.630	1.876	1.838	-2,0%
TOTAL	lts/seg	316	243	713	978	1.287	1.707	2.275	2.446	3.162	3.993	4.062	1,7%



CONSUMO UNITARIO DE AGUA CONTINENTAL POR TONELADA DE MINERAL PROCESADO/TRATADO													
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var 2018-2019
Concentración	m ³ /ton mineral	0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53	0,52	0,50	0,45	0,364	0,364	-0,1%
Hidrometalurgia	m ³ /ton mineral	0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,11	0,106	0,106	0,6%

CONSUMO UNITARIO DE AGUA CONTINENTAL DE ACUERDO AL TAMAÑO DE EMPRESA													
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var 2017-2019
CONCENTRACIÓN													
Gran Minería del Cobre	m ³ /ton mineral	0,67	0,68	0,63	0,59	0,57	0,53	0,50	0,49	0,44	0,36	0,36	-0,2%
Mediana Minería del Cobre	m ³ /ton mineral	0,78	0,90	0,88	0,88	0,85	0,59	0,89	0,73	0,65	0,40	0,40	-0,3%
PROMEDIO PAÍS		0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53	0,52	0,50	0,45	0,36	0,36	-0,2%
HIDROMETALURGIA													
Gran Minería del Cobre	m ³ /ton mineral	0,12	0,11	0,12	0,10	0,10	0,08	0,07	0,09	0,10	0,10	0,11	2,7%
Mediana Minería del Cobre	m ³ /ton mineral	0,11	0,19	0,24	0,10	0,06	0,15	0,25	0,27	0,25	0,40	0,13	-67,7%
PROMEDIO PAÍS		0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,11	0,106	0,108	2%

RECIRCULACIÓN DE AGUA EN LA OPERACIÓN COMPLETA													
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var 2018-2019
Agua Reciclada total	lts/seg	ND	ND	25.367	34.291	32.138	31.708	40.382	43.269	38.069	46.221	53.325	15,4%
Tasa de recirculación total promedio	%	ND	ND	68,7%	74,0%	73,0%	73,9%	72,5%	72,9%	69,7%	72,7%	76,4%	5,0%

RECIRCULACIÓN DE AGUA EN LA CONCENTRADORA													
	Unidades	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var 2018-2019
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	36.497	1,6%
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%	74,6%	0,4%

Anexo II: 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	2019	Var 2018-2019
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA													
Concentración	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Hidrometalurgia	lts/seg	0	0	0	0	0	3	4	5	5	0	0	-
Mina	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	-
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Otros	lts/seg	0	0	0	0	0	1	2	0,1	0,1	0,1	0,0	-99%
Cesión o venta a terceros	lts/seg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	-
TOTAL XV	lts/seg	0	0	0	0	0	4	7	5	5	0,1	0,0	-99%
REGIÓN DE TARAPACÁ													
Concentración	lts/seg	997	952	887	902	905	905	905	862	844	935	727	-22%
Hidrometalurgia	lts/seg	179	189	140	170	131	163	163	107	91	68	57	-16%
Mina											68	24	-65%
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Otros	lts/seg	99	273	261	289	284	273	148	160	233	164	463	182%
Cesión o venta a terceros											0,2	65,8	32815%
TOTAL I	lts/seg	1.275	1.413	1.288	1.361	1.320	1.341	1.217	1.129	1.167	1.235	1.336	8%
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	2.363	2%
Hidrometalurgia	lts/seg	1.441	1.329	1.388	1.002	1.369	1.351	1.643	1.535	1.484	1.318	1.443	10%
Mina											308	341	11%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	221	294	261	258	239	254	220	-13%
Otros	lts/seg	937	976	781	679	107	553	515	686	872	845	437	-48%
Cesión o venta a terceros											167	132	-21%
TOTAL II	lts/seg	5.751	5.546	5.250	4.952	4.986	5.424	5.512	5.315	4.967	5.214	4.936	-5%
REGIÓN DE ATACAMA													
Concentración	lts/seg	1.201	1.266	1.208	1.136	1.121	882	866	1.033	995,302	816	917	12%
Hidrometalurgia	lts/seg	153	165	168	134	158	100	70	68	60,338	49	44	-11%
Mina											67	41	-39%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	80	77	80	114	81,04	82	48	-41%
Otros	lts/seg	296	235	260	354	95	390	151	107	214	268	109	-59%
Cesión o venta a terceros											101	59	-41%
TOTAL III	lts/seg	1.650	1.667	1.636	1.624	1.454	1.449	1.168	1.322	1.351	1.383	1.219	-12%
REGIÓN DE COQUIMBO													
Concentración	lts/seg	479	794	801	903	702	886	962	1.134	823	804	817	2%
Hidrometalurgia	lts/seg	34	25	4	12	6	7	14	53	56	8	8	1%
Mina											99	82	-17%
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Otros	lts/seg	21	21	153	108	377	93	170	104	267	328	88	-73%
Cesión o venta a terceros											0	46	46299900%
TOTAL IV	lts/seg	534	839	958	1.023	1.085	986	1.145	1.291	1.146	1.238	1.041	-16%

REGIÓN DE VALPARAÍSO													
Concentración	lts/seg	751	947	1.034	997	1.066	1.141	1.038	1.156	962	819	897	10%
Hidrometalurgia	lts/seg	96	NI	76	2	2	0	33	34	16	36	19	-48%
Mina											53	26	-51%
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	ND	ND	114	79	82	82	80	75	69	-8%
Otros	lts/seg	0	147	0	76	270	218	148	63	205	170	150	-12%
Cesión o venta a terceros											0	0	-
TOTAL V	lts/seg	847	1.094	1.110	1.075	1.452	1.438	1.301	1.336	1.263	1.154	1.162	1%
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	1.739	-6%
Hidrometalurgia	lts/seg	265	118	1	10	10	10	10	8	8	31	22	-28%
Mina											52	70	35%
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	150	100	100	186	139	106	88	-17%
Otros	lts/seg	0	0	305	256	156	183	162	161	142	296	135	-55%
Cesión o venta a terceros											0	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	2.054	-12%
REGIÓN METROPOLITANA													
Concentración	lts/seg	521	436	417	589	684	602	596	804	927	530	534	1%
Hidrometalurgia	lts/seg	16	30	1	54	75	71	70	118	125	219	100	-54%
Mina											29	54	86%
Fundición y Refinería	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Otros	lts/seg	9	0	170	42	35	38	42	56	44	11	14	23%
Cesión o venta a terceros											0	0	-
TOTAL RM	lts/seg	546	466	588	685	794	711	708	979	1.097	789	702	-11%

EXTRACCIÓN DE AGUA EN LA MINERÍA DEL COBRE SEGÚN FUENTE													
Unidades		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Var 2018-2019
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA													
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	4	7	5	5	0,1	0,0	-90,0%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
		0	0	0	0	0	4	7	5	5	0,1	0,0	
REGIÓN DE TARAPACÁ													
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	0	105	104	0	15	0	0	5	-
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	1.271	1.215	1.153	1.133	1.030	1.090	1.156	1.257	8,8%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	90	0	84	84	85	77	79	74	-6,3%
Aguas de mar	lts/seg	0	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	1.336	

REGIÓN DE ANTOFAGASTA													
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	1.915	1.964	1.926	1.674	1.747	750	801	761	-4,9%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	2.539	2.600	3.014	3.148	2.854	3.433	3.580	3.481	-2,8%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	498	422	484	691	715	784	834	814	-2,3%
Aguas de mar	lts/seg	316	243	713	978	1.039	1.274	1.767	2.053	2.694	3.656	3.620	-1,0%
		316	243	713	5.931	6.025	6.698	7.279	7.368	7.661	8.870	8.676	
REGIÓN DE ATACAMA													
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	701	541	545	408	384	546	594	520	-12,5%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	747	759	750	704	767	634	668	701	4,9%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	175	154	155	56	171	171	121	49	-59,5%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	248	433	508	393	468	337	419	24,3%
		0	0	0	1.624	1.702	1.883	1.676	1.714	1.819	1.720	1.689	
REGIÓN DE COQUIMBO													
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	589	494	552	608	660	609	611,06	458	-25,1%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	433	590	433	507	614	520	621,9	579	-7,0%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	31	17	16	5	5	5,4%
Aguas de mar	lts/seg	0	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	1.041	
REGION DE VALPARAISO													
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	754	829	819	681	705	638	466	475	2,1%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	322	623	604	606	619	612	679	675	-0,5%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	15	14	12	13	9	11	19,7%
Aguas de mar	lts/seg	0	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	1.162	
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	1.871	-12,3%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	229	219	175	181	285	251	211	184	-13,1%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	150	0	0	0	0	-
Aguas de mar	lts/seg	0	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	2.054	
REGIÓN METROPOLITANA													
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	ND	ND	478	600	537	523	742	903	548	237	-56,7%
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	ND	ND	207	194	174	153	162	127	206	177	-14,0%
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	0	0	0	32	74	67	35	116	230,5%
Aguas de mar	lts/seg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
		0	0	0	685	794	711	708	979	1.097	789	531	

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

Vania Ramírez Jiménez

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Octubre/ 2020

