



# Agua en la minería del cobre

---

Actualización al año 2022

DEPP 13/2023  
RPI 2024-A-795



Comisión Chilena del Cobre

**Resumen Ejecutivo:**

Este estudio tiene como objetivos principales dar a conocer las extracciones y el uso del agua en la industria minera del cobre en Chile, aumentar la disponibilidad y transparencia de información relevante en temas críticos y servir como base sólida para el análisis de las discusiones públicas relacionadas con el recurso hídrico y su relación con la minería. El presente estudio se basa en los resultados de la Encuesta Minera de Producción, Agua y Energía (EMPAE), aplicada anualmente por Cochilco a las operaciones mineras de cobre del país, lo que representa un alto porcentaje de cobertura y compromiso del sector minero. Considerando un total de 52 operaciones mineras, entre las que se encuentran gran y mediana minería, fundiciones y refinerías. En el año 2022 llegó al 99% de la producción de cobre nacional que alcanzó las 5,33 millones de toneladas de cobre fino.

Chile se enfrenta a una crisis hídrica, exacerbada por el cambio climático. Se prevé que el país se vuelva más cálido y seco, con una disminución significativa de las precipitaciones. La relevancia de este estudio radica en su importancia para la toma de decisiones tanto en la industria minera como en la gestión de los recursos hídricos, tanto en el sector privado como en el público. Asimismo considerar que para abordar esta crisis, el Gobierno de Chile ha comenzado el plan sectorial de cambio climático en minería, para lo cual se definen políticas de largo plazo y es necesario establecer hitos intermedios que vayan monitoreando y verificando los avances.

De acuerdo a los resultados de la encuesta en 2022, la minería del cobre en Chile utilizó 18,07 m<sup>3</sup>/seg de agua para sus operaciones. El agua utilizada provino en un 66% de fuentes continentales y en un 34% de agua de mar. El proceso de concentración de minerales sulfurados representó el 76,2% del consumo total de agua en la minería de cobre en 2022. Le siguió el proceso de hidrometalurgia con un 11,2%. Es importante considerar que, si bien en la última década se ha visto una disminución en las aguas continentales, esto no refleja una gestión más eficiente, sino un reemplazo por agua de mar, sin avances en la eficiencia hídrica de los procesos.

La desalinización del agua de mar se ha convertido en una solución beneficiosa para enfrentar la escasez hídrica en la minería. Sin embargo, su implementación debe considerar diversos factores, incluyendo costos, impacto ambiental, consumo de energía y condiciones locales. La falta de regulación especializada en la desalinización destaca la necesidad de un marco normativo adecuado.

En resumen, la gestión sostenible del agua es fundamental para el éxito de la industria minera de cobre en Chile, considerando los desafíos de escasez de agua y el contexto ambiental. Un enfoque adaptativo y multivariable es esencial para avanzar hacia la sostenibilidad, y la desalinización se presenta como una solución clave en este camino.

## Contenido

Resumen Ejecutivo: .....	2
1. Introducción:.....	5
Panorama global del agua.....	5
Escasez Hídrica en Chile .....	5
Minería y Agua .....	7
2. Metodología.....	9
3. Balance Hídrico de la minería del cobre.....	11
Ingresos de agua en la minería del cobre.....	14
Extracciones de agua en la minería del cobre.....	15
Uso operativo del agua en la minería del cobre.....	21
Salidas de agua en la minería del cobre.....	23
Consumo de Agua.....	23
Descargas Operacionales.....	23
Otras aguas manejadas (OMW) .....	24
4. Indicadores de gestión de agua en la minería del cobre .....	25
Make up.....	25
Eficiencia operacional.....	27
5. Agua de mar y desalinización .....	29
6. Comentarios finales.....	31
Anexos .....	33

## Índice de figuras

Figura 1 Riesgos asociados a la minería y el agua.....	8
Figura 2 Modelo de entrada y salida.....	10
Figura 3 Balance Hídrico para la minería del cobre 2022.....	12
Figura 4 Ingresos (entradas) de agua en la minería del cobre año 2022 .....	14
Figura 5 Distribución porcentual de los ingresos de agua en la minería del cobre 2012-2022.....	14
Figura 6 Tendencia extracciones de agua y producción de cobre fino 2012-2022 .....	15
Figura 7 Extracción de agua en la minería del cobre 2022.....	16
Figura 8 Tendencia del Agua continental y agua de mar en la minería del cobre 2012- 2022 .....	16
Figura 9 Extracción de agua de mar y continental por región en la minería del cobre 2022 .....	17
Figura 10 Fuentes de extracción de agua para el abastecimiento en la minería del cobre .....	18
Figura 11 Extracciones de agua según fuente de abastecimiento en la minería del cobre año 2022 .....	19
Figura 12 Tendencia de las extracciones de agua por fuente de abastecimiento en la minería del cobre 2012-2022 .....	19
Figura 13 Extracciones de agua según fuente de abastecimiento por región en la minería del cobre años 2012-2022.....	20
Figura 14 Principales tareas operacionales en la minería del cobre .....	21
Figura 15 Uso operativo del agua en la minería del cobre 2022 .....	22
Figura 16 Salidas de agua en la minería del cobre 2022.....	24
Figura 17 Make up en concentración e hidrometalurgia 2018-2022 (m <sup>3</sup> /ton_min).....	26
Figura 18 Tabla recirculación y reutilización de agua operacional 2022 .....	27
Figura 19 Tendencia volumen de agua recuperada y tasa de recuperación en la minería del cobre 2012-2022 .....	28

## **i. Introducción:**

### **Panorama global del agua**

La escasez de agua se ha convertido en uno de los desafíos más apremiantes a nivel mundial. De acuerdo con las Naciones Unidas<sup>1</sup>, más de 2 mil millones de personas en todo el mundo residen en países con niveles significativos de estrés hídrico, lo que significa que experimentan escasez de agua durante al menos un mes al año. El creciente estrés hídrico indica un uso sustancial de los recursos hídricos, con mayores impactos en la sostenibilidad del recurso y un potencial creciente de conflictos entre los usuarios.

El cambio climático es un factor importante que agrava la escasez de agua en muchas regiones. El aumento de las temperaturas, los patrones de lluvia impredecibles y la mayor evaporación contribuyen a la disminución de los recursos hídricos disponibles. Los glaciares en muchas partes del mundo se están reduciendo rápidamente debido al calentamiento global, lo que amenaza con agotar aún más las fuentes de agua dulce. Además, el cambio climático aumenta la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones, lo que agrava los problemas de gestión del agua y la seguridad hídrica.

La contaminación del agua es otro desafío crítico que enfrenta la humanidad. La descarga de contaminantes industriales y agrícolas, la contaminación por nutrientes y la contaminación microplástica son solo algunos ejemplos de cómo los cuerpos de agua están siendo degradados.

A pesar de los desafíos globales relacionados con el agua, se presentan oportunidades para abordar la escasez de agua y garantizar un futuro sostenible. La gestión interdisciplinaria, la cooperación a nivel internacional y la adopción de tecnologías innovadoras son elementos esenciales en este esfuerzo global. La preservación y gestión sostenible del agua son fundamentales para el bienestar humano y la salud de nuestro planeta.

### **Escasez Hídrica en Chile**

Chile se enfrenta a una crisis de escasez hídrica de proporciones significativas. La megasequía que afecta al país ha persistido durante casi 13 años y se caracteriza por la falta sostenida de precipitaciones y el aumento de las temperaturas, intensificando la menor disponibilidad de agua.

El cambio climático se proyecta como una amenaza adicional para la disponibilidad de agua en Chile. Las proyecciones indican que el país se volverá más cálido y seco en las próximas décadas, lo que intensificará la escasez hídrica. Las proyecciones futuras muestran una fuerte reducción en la disponibilidad de agua en la zona. De acuerdo a la actualización del balance hídrico nacional<sup>2</sup>, los modelos hidrológicos estiman –en promedio– que en algunas cuencas las disminuciones de caudal serían cercanas al 30%, aunque uno de los modelos más extremos indica que esta

---

<sup>1</sup> Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019.

<sup>2</sup> DGA (2017), Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417, MOP, DGA, Realizado por: Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile.

disminución alcanzaría hasta 50% para el período 2030–2060. Los modelos climatológicos indican que nos estamos moviendo a una nueva normalidad donde el territorio será más seco que en las décadas pasadas. La migración de las zonas áridas hacia el sur agrava la crisis, afectando las regiones más australes del país, que históricamente habían recibido más precipitaciones.

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica, desarrollados por la Dirección General de Aguas (DGA), proyectan déficits significativos para suplir las demandas hasta el año 2050 en la mayoría de las cuencas, hasta la Región del Maule.

En este contexto, se estima que la eficiencia en el uso del agua puede contribuir significativamente a reducir la escasez hídrica desde una perspectiva sistémica, siempre y cuando las ganancias no se traduzcan en un aumento de la demanda, en particular en el sector agrícola del norte y centro del país. Además, la incorporación de nuevas fuentes de agua, como la desalinización y el reúso de aguas residuales tratadas, podría ayudar a mitigar la escasez en usos críticos, como el consumo humano y la minería. La desalinización de agua de mar se presenta como una medida oportuna, innovadora y viable para afrontar la escasez y la creciente demanda, y ya se ha priorizado en la cuenca del río Elqui.

El Gobierno de Chile ha reconocido la gravedad de la crisis hídrica y ha tomado medidas para abordarla. Se ha anunciado el Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos (PACC–RH), liderado por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Este plan se enmarca en la Ley Marco de Cambio Climático y tiene como objetivo identificar y abordar los riesgos y oportunidades relacionados con el cambio climático en el sector de los recursos hídricos.

El PACC–RH se enfoca en el desarrollo de estrategias y medidas específicas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia frente a los eventos climáticos en los recursos hídricos. Se espera que este plan esté completo para junio de 2024 y se financia a través del Fondo Verde del Clima, con un total de \$1.470.000 dólares destinados para su implementación.

La participación ciudadana temprana es un componente fundamental del plan, donde se invita a la población a proporcionar opiniones y percepciones sobre la vulnerabilidad al cambio climático y las medidas de adaptación en el sector de los recursos hídricos. Los ciudadanos también pueden contribuir con información relevante para la elaboración del plan.

Además, Chile se ha comprometido a avanzar en la inclusión del enfoque de género en la gestión estratégica de los recursos hídricos y a implementar los principios del *Valuing Water* en los Consejos de Cuenca del país. Estos esfuerzos buscan promover una gestión más equitativa y sostenible del agua y reconocen la importancia de considerar las dimensiones sociales y de género en la toma de decisiones relacionadas con el agua.

Por otra parte el comité interministerial de transición hídrica justa, es el Comité Asesor presidencial que busca consolidar un trabajo intersectorial y mejorar la coordinación con los Gobiernos Regionales para avanzar hacia la seguridad hídrica. Este comité propuso la instalación

de los consejos de cuenca <sup>3</sup>piloto en 16 cuencas. . Estos consejos incluyen representantes del Estado a nivel central, regional y comunal, el sector privado, la sociedad civil y las comunidades indígenas. Su proceso de conformación se inició en diciembre de 2022, y su objetivo es promover acciones orientadas a la gestión eficiente e integrada de los recursos hídricos, teniendo en cuenta el consumo humano, el saneamiento y la preservación del ecosistema en equilibrio con las actividades productivas.

Chile ha asumido importantes compromisos para avanzar hacia una gestión hídrica más eficiente y justa. Estos compromisos incluyen asegurar el acceso universal y equitativo al agua potable, establecer metas en materia de calidad y tratamiento de aguas, impulsar la transparencia de información en materia hídrica y trabajar en la seguridad hídrica a nivel de cuencas.

Este enfoque integral y los compromisos asumidos por Chile buscan promover un desarrollo inclusivo y ecológicamente sostenible, centrado en el bienestar de las personas y la protección de nuestros ecosistemas. La coordinación y colaboración son esenciales para garantizar que estos compromisos a nivel gubernamental se traduzcan en acciones efectivas a nivel territorial.

### **Minería y Agua**

La interacción entre la minería y el agua ha emergido como un tema de importancia crítica tanto a nivel nacional como global. En particular, Chile se encuentra en una encrucijada donde la sequía, el cambio climático y las demandas crecientes sobre los recursos hídricos están dando forma a la dinámica de la industria minera. La minería es una actividad que necesita agua en cada etapa del proceso minero, desde la extracción hasta el procesamiento y la disposición de residuos, se requieren grandes volúmenes de agua, que a la fecha son en su mayoría volúmenes que se recuperan de la misma operación.

Entonces, el agua es un elemento fundamental para las operaciones mineras. Se necesita agua para el proceso de extracción y beneficio de minerales y no se limita solo a los procesos de producción, sino que también se extiende a la supresión de polvo, el enfriamiento de equipos y la provisión de agua potable para los trabajadores. Asimismo, el tratamiento del agua resultante de la actividad es necesario para no dañar el medio ambiente y para volver a ser utilizada en la operación. La minería y el agua están estrechamente vinculados, y la forma en que se gestionan estos recursos es fundamental tanto para la industria como para las comunidades y el medio ambiente en las regiones mineras. En consecuencia, la minería se convierte en una actividad que tiene un profundo impacto en los recursos hídricos y viceversa.

### **Riesgos para el Negocio Minero en su componente hídrica**

Cada ubicación minera puede estar expuesta a diferentes riesgos hídricos. Realizar investigaciones y evaluaciones de riesgos específicos es fundamental para comprender la vulnerabilidad y prepararse para la escasez/exceso de agua.

---

<sup>3</sup> <https://agua.mma.gob.cl/consejos-de-cuenca-piloto/>

La relación entre la minería y el agua presenta riesgos sustanciales para la industria minera. Uno de los riesgos más evidentes es el aumento de los costos asociados con la obtención de fuentes de agua. La desalinización, la reutilización y la eficiencia en el uso del agua pueden representar un porcentaje significativo de los costos de producción de minerales como el cobre y el oro. Estos costos pueden influir en las curvas de costos marginales a largo plazo y, por lo tanto, en la rentabilidad de las operaciones.

Los riesgos físicos relacionados con el agua también son una preocupación importante. El cambio climático y los eventos climáticos extremos pueden dar lugar a sequías prolongadas, lo que afecta la disponibilidad de agua para las operaciones mineras. Además, la falla de las estructuras críticas, como las presas de relaves, puede tener consecuencias devastadoras para el medio ambiente y la seguridad de las comunidades circundantes. Estos riesgos no siguen una línea recta y predecible, sino que pueden mostrar un comportamiento similar a un régimen.

*Figura 1 Riesgos asociados a la minería y el agua.*

TIPO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
<b>RIESGOS FINANCIEROS</b>	Los riesgos financieros incluyen costos inesperadamente altos asociados con la obtención de fuentes de agua, fallas catastróficas de infraestructura que generen costos de remediación y la pérdida de la licencia para operar debido a incumplimientos ambientales. Estos riesgos pueden tener un impacto directo en la rentabilidad de las operaciones mineras y en la valoración de mercado de las empresas mineras.
<b>RIESGOS OPERATIVOS</b>	El agua es un recurso escaso y su uso está expuesto a cambios regulatorios y a la intervención de grupos de interés para restringirlo. Esto podría inhibir la producción o incrementar sus costos al incorporar fuentes alternativas como el agua de mar. Los riesgos operativos incluyen la interrupción de las operaciones debido a la escasez de agua, la competencia por los recursos hídricos en regiones con escasez y la sobreexplotación de las aguas subterráneas que afecta la disponibilidad a largo plazo de agua para la minería. Estos riesgos pueden generar costos adicionales y retrasos en la producción.
<b>RIESGOS SOCIALES Y LEGALES</b>	Los riesgos sociales y legales están relacionados con conflictos con las comunidades locales, la percepción de corrupción en el sector minero y la posible modificación de marcos legales que regulan el uso del agua y la gestión de desechos relacionados con la minería. Estos riesgos pueden afectar la reputación de la empresa y generar costos legales. La relación entre el agua y los conflictos en la minería es compleja y multifacética. Los desacuerdos y conflictos entre las comunidades locales y las empresas mineras pueden afectar la continuidad de las operaciones y la reputación de la empresa.
<b>RIESGOS CLIMÁTICOS</b>	Los riesgos climáticos, como sequías prolongadas o eventos climáticos extremos, pueden alterar significativamente la disponibilidad de agua y generar costos adicionales para la gestión de riesgos y adaptación. Esto significa que los riesgos climáticos pueden cambiar con el tiempo de una manera que no siempre coincide con las estimaciones realizadas durante la fase de diseño de las operaciones mineras. Además, los riesgos climáticos tienden a manifestarse de manera similar en diferentes ubicaciones geográficas durante un ciclo económico. Esta correlación espacial de riesgos climáticos puede resultar en un aumento de los riesgos para una cartera de activos, ya que múltiples ubicaciones pueden verse afectadas simultáneamente por eventos climáticos adversos.



## **ii. Metodología**

La metodología empleada en este estudio consiste en el procesamiento de datos, la clasificación y el análisis de la información proporcionada en la "Encuesta de Producción, Energía y Agua" realizada en las operaciones mineras de cobre. En el año 2022, un total de 52 operaciones mineras, que incluyen minas, fundiciones y refinерías, participaron en la encuesta, representando más del 99% de la producción nacional de cobre en 2022 (consultar el Anexo 1 para ver la lista de empresas participantes).

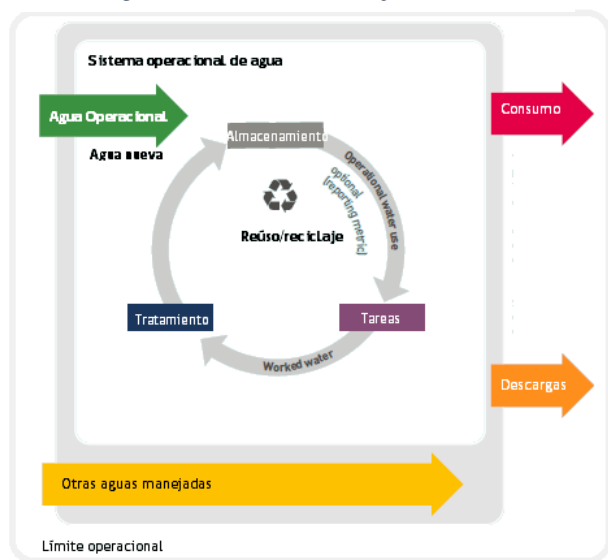
La metodología se puede sintetizar en tres partes:

- a) A través de la Encuesta de "Producción, energía y agua", se consultan los niveles de producción, consumo de energía y agua por proceso minero.
- b) Se revisa la información recibida y se solicitan ajustes a las empresas en caso de existir discrepancias con otras fuentes de información o valores atípicos respecto de la información histórica.
- c) En base a la información suministrada por las operaciones mineras se calculan los consumos globales y unitarios de agua por procesos a nivel nacional. Los consumos totales se presentan en m<sup>3</sup>/seg o lts/seg, donde 1.000 lt equivalen a 1 m<sup>3</sup>.

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.

El ICMM (International Council on Mining and Metals) ha desarrollado un marco de gestión del agua que adopta un enfoque centrado en las zonas de captación en lo que respecta a la gestión del agua. La actualización de la guía de buenas prácticas plantea una serie de orientaciones para la entrega de información interna y externa de los reportes de agua.

Figura 2 Modelo de entrada y salida



Fuente: ICMM, *Water reporting, good practice guide 2nd edition, 2021*

La metodología propuesta por el ICMM y WAF busca llevar sistemas complejos de flujos de agua a un sistema simplificado para su mayor comprensión.

El modelo de entrada-salida, con base en el Water Accounting Framework (WAF) elaborado en la Universidad de Queensland, Australia, 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.

La metodología ICMM incluye riesgos y oportunidades, junto con parámetros de calidad. Para efectos de este informe no contamos con esa información. Si bien la metodología propuesta en la guía tiene una mayor profundidad, incluyendo conceptos de calidad de agua, riesgos, y descripción del lugar en que esta la operación, la nueva metodología utilizada en la Encuesta anual de Cochilco busca alinear los términos y conceptos en búsqueda de un sistema equivalente y comparable.

Para consultar el formato de la encuesta enviada a las empresas, consulte el Anexo 2. Para obtener más detalles sobre la metodología, consulte la guía [Water reporting: Good practice guide \(2nd edition\)](#).

### iii. Balance Hídrico de la minería del cobre

El objetivo principal es proporcionar una comprensión detallada de los flujos de agua dentro de un sistema, lo que es crucial para la toma de decisiones informadas sobre la gestión sostenible del agua. A través de simplificar los diagramas de flujo internos para visibilizar de manera fácil el uso de agua en la minería del cobre.

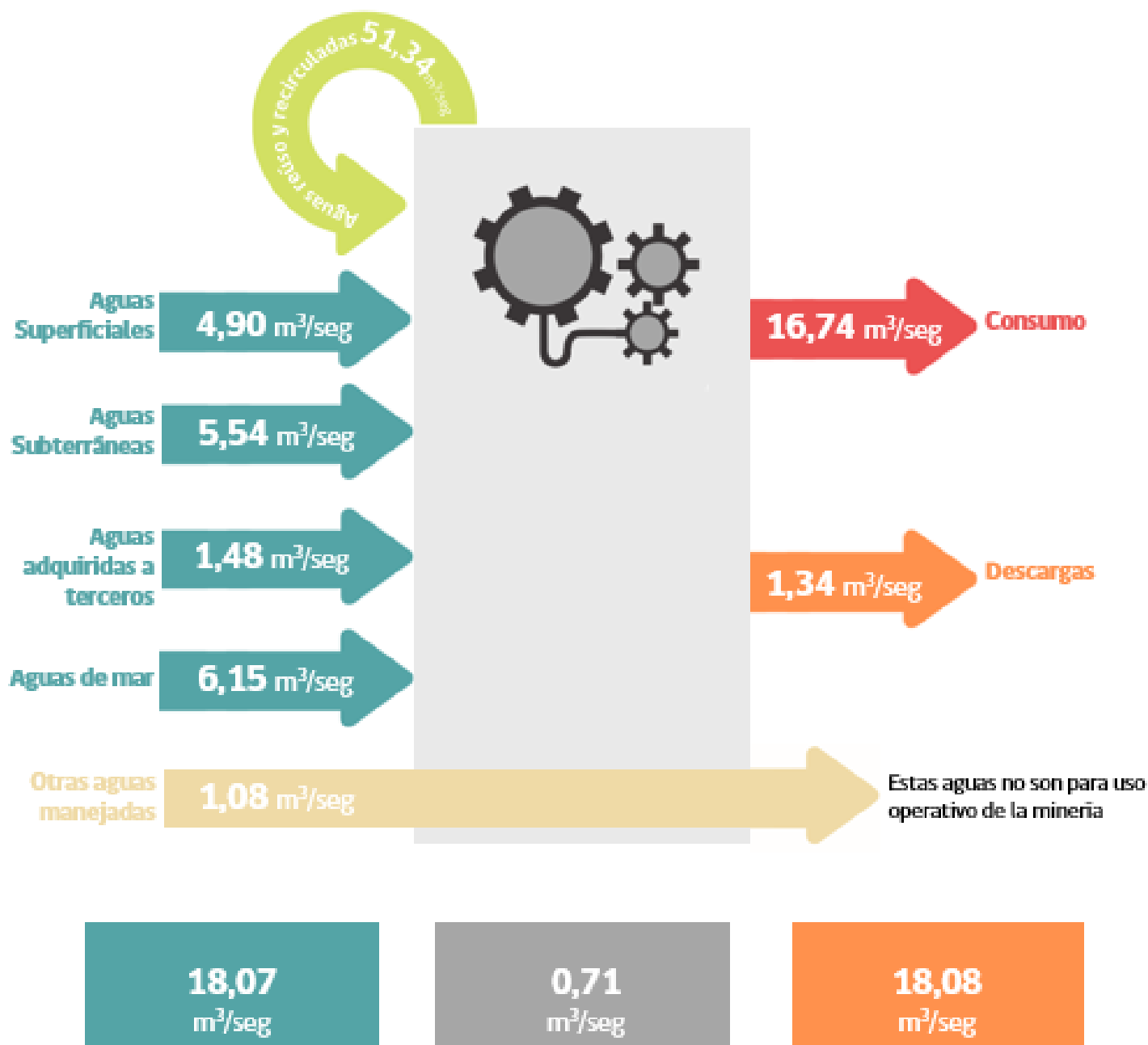
Un balance hídrico tiene como objetivo evaluar la relación entre los flujos de entrada y salida de agua en una región o sistema particular durante un período de tiempo definido. Aunque cada balance de agua es único para cada instalación minera debido a las variaciones en el mineral, el tipo y la calidad del agua, el tipo de procesamiento, entre otros factores, este balance busca establecer un esquema general que permita simplificar y visualizar las entradas y salidas de agua, así como su uso en cada tarea o proceso.

Un primer paso en el proceso de elaboración de un balance hídrico es definir la frontera del sistema. En este caso, la frontera o límite del sistema se establece dentro de la instalación minera, no desde el punto de captura de las aguas como es el caso del agua de mar. Por lo tanto, las entradas de agua se determinan una vez que el agua llega a la instalación, lo que incluye el suministro de pozos utilizados por las operaciones mineras, pero no la toma de agua de mar, solo el agua que efectivamente llega a la operación.

Algunos puntos importantes a considerar en el balance propuesto para el año 2022 son:

- Las entradas de agua al sistema se dividen en dos categorías: extracciones de agua para la operación minera, extracciones de otras aguas manejadas (OMW), y aguas recuperadas, ya sean de reúso, reciclaje o recirculadas.
- Las aguas recirculadas no se consideran en la metodología propuesta por ICMM. Por la data histórica que maneja COCHILCO se mantiene la métrica.
- Para este informe en el caso de agua de mar no se considera la captura desde el borde costero y su posterior vertido (descarga de salmuera), sino que el agua que efectivamente es impulsada a la operación.
- Otras aguas manejadas/gestionadas: Son aquellas aguas que no son utilizadas en la operación, mayormente son para la entrega a comunidades. Anteriormente no se consultaban por lo que en esta versión **no se consideran dentro de las "extracciones de agua para la minería del cobre"**.
- Al analizar extracciones por fuentes de abastecimiento la humedad contenida en el mineral y las aguas del minero ("aguas halladas") se consideran dentro de las aguas subterráneas.

Figura 3 Balance Hídrico para la minería del cobre 2022



(\*) El valor de "Almacenamiento" sólo indica el cambio en el volumen durante el período contable y no describe el volumen total de agua almacenada.

Fuente: Elaboración propia

### Componentes del Balance Hídrico

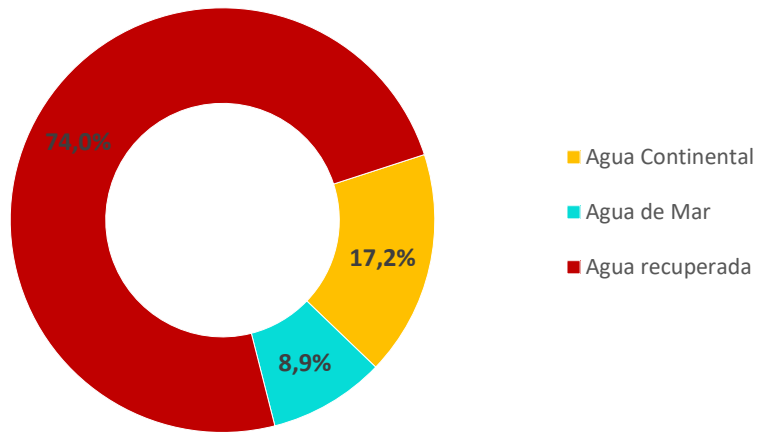
Un balance hídrico típico considera varios componentes clave, que incluyen:

- **Ingresos de agua:** Esto incluye precipitación, recarga de acuíferos, escurrimiento superficial de ríos y arroyos, agua de mar y cualquier otra entrada de agua.
- **Salidas de agua:** Estos son los flujos de agua fuera del sistema, como la evaporación, la extracción de agua para usos humanos e industriales, la descarga a ríos y arroyos, y la recarga de acuíferos.
- **Almacenamiento de agua:** Se refiere a la cantidad de agua que se almacena en lagos, embalses, acuíferos u otros cuerpos de agua durante el período de estudio.
- **Cambios en el almacenamiento:** Este componente tiene en cuenta cualquier cambio neto en el almacenamiento de agua durante el período, como la recarga o la extracción de acuíferos, es solo una medida contable, no expresa un volumen físico.

### Ingresos de agua en la minería del cobre

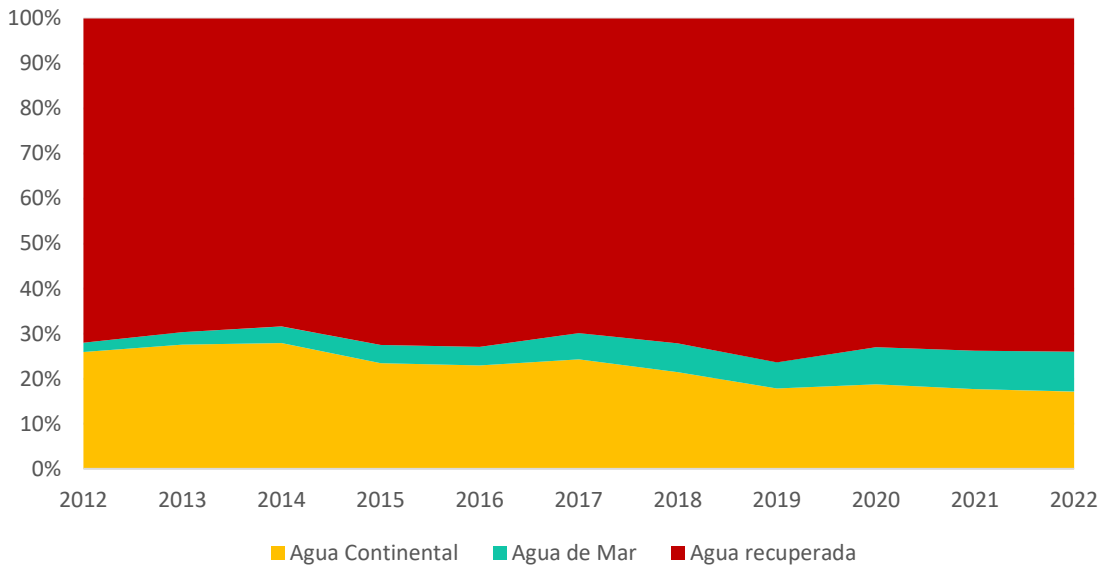
Incluye tanto las extracciones de agua como los ingresos de agua recuperada. Para el año 2022 los ingresos de agua alcanzaron los 69,41 m<sup>3</sup>/seg, donde el 73,97% corresponde a aguas recuperadas, ya sean agua recirculadas, de reúso o recicladas.

Figura 4 Ingresos (entradas) de agua en la minería del cobre año 2022



Se observa que desde hace más de 10 años gran parte del volumen de agua de entrada para la minería del cobre corresponde a agua recuperada en la operación.

Figura 5 Distribución porcentual de los ingresos de agua en la minería del cobre 2012-2022



## Extracciones de agua en la minería del cobre

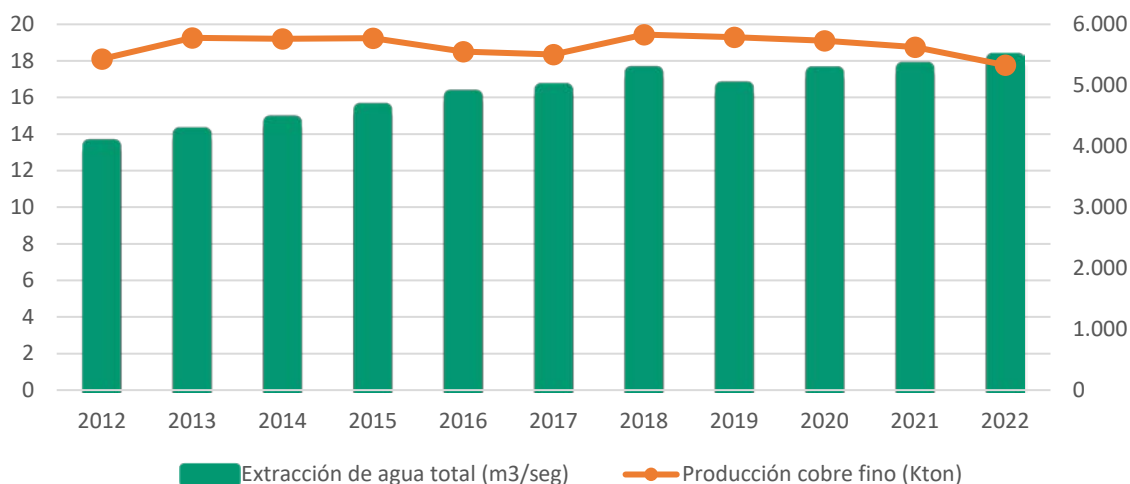
### Extracciones de agua total

La producción de cobre en 2022 tuvo un cuarto año de caída consecutiva, y con 5,33 millones de toneladas, un 5% menos que en el 2021, alcanzó el valor más bajo de la última década. Las razones se deben a menores leyes de mineral y casos puntuales de escasez de agua.

**18,07** m<sup>3</sup>/seg  
Extracción de agua operacional  
en la minería del cobre 2022.

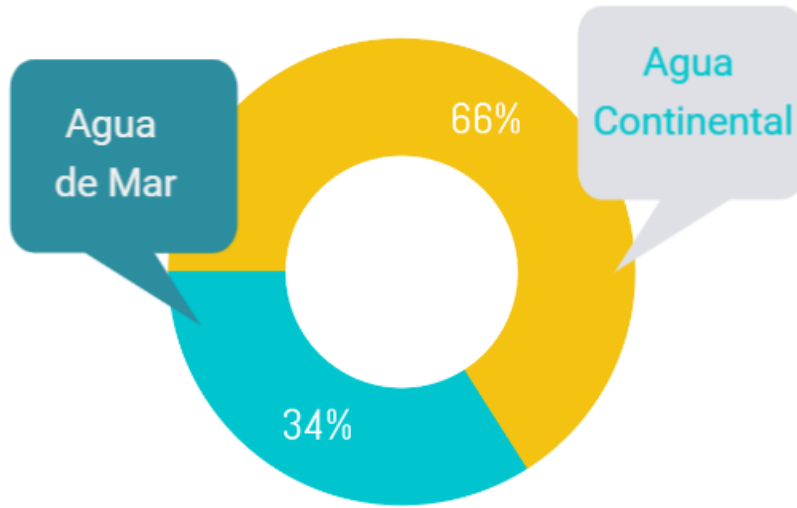
Para lograr dicha producción en 2022 la extracción de agua para uso operativo en el sector de la minería del cobre alcanzó los 18,07 m<sup>3</sup>/seg. La tasa promedio de crecimiento promedio de las extracciones totales es de un 3,17% anual en los últimos 10 años.

Figura 6 Tendencia extracciones de agua y producción de cobre fino 2012-2022



Para el año 2022, se observa que el 66% de las extracciones de agua en la minería del cobre corresponde a agua continental correspondiente a 11,92 m<sup>3</sup>/seg, mientras que el 34% restante es agua de mar, con 6,15 m<sup>3</sup>/seg.

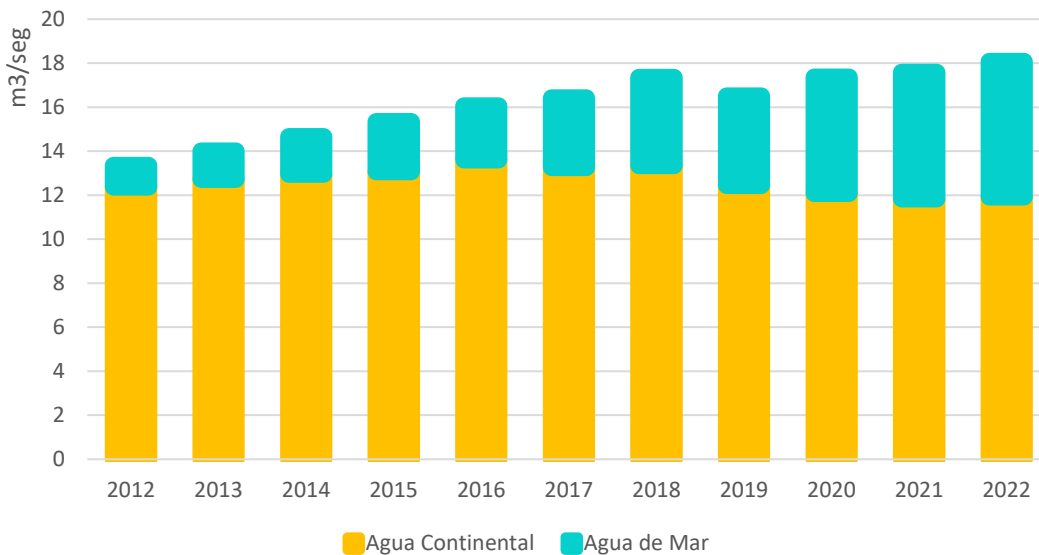
Figura 7 Extracción de agua en la minería del cobre 2022



Importante señalar que de los 11,92 m3/seg de las aguas continentales, 0,63 m3/seg corresponden a aguas de reúso/industrial que no compiten con el uso humano.

Un dato relevante es que en los últimos años se ha evidenciado una tendencia a la disminución en el uso de agua continental en la minería del cobre, mientras que el uso de agua de mar ha experimentado un aumento significativo. Este cambio en la fuente de abastecimiento de agua refleja los esfuerzos de la industria por adaptarse a las condiciones cambiantes y la creciente conciencia sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Figura 8 Tendencia del Agua continental y agua de mar en la minería del cobre 2012- 2022



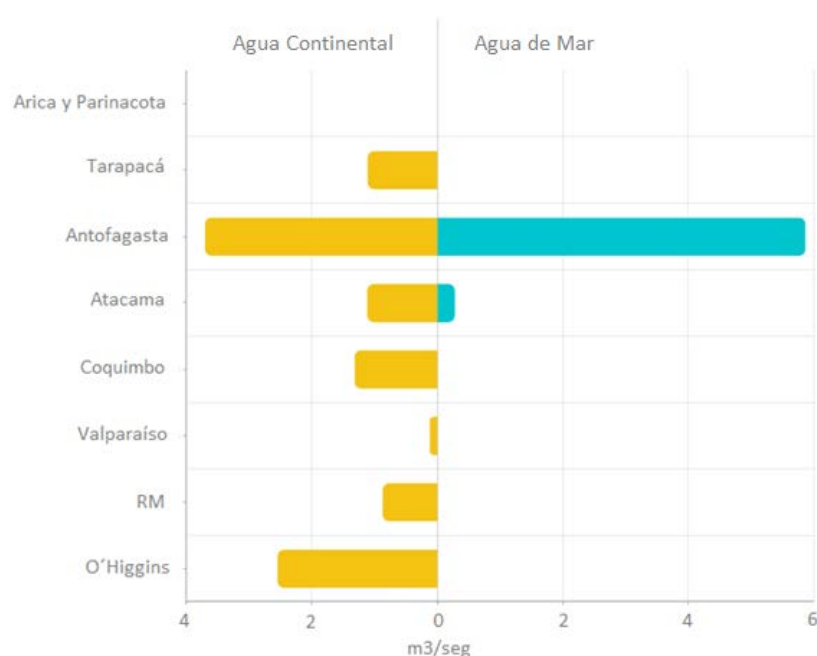


## Extracciones de agua regional

Si bien la minería no es el sector que utiliza un mayor porcentaje de agua continental a nivel nacional, esta actividad está ubicada principalmente en la zona norte y centro, donde la disponibilidad es limitada. Según el último informe publicado por la Dirección General del Agua (DGA), el sector minero representa aproximadamente el 4% del uso consuntivo de agua a nivel nacional. Sin embargo, esta cifra varía significativamente en regiones con una mayor actividad minera, superando el 50% del uso consuntivo del agua en regiones como Tarapacá y Antofagasta.

Por lo tanto, es fundamental comprender la distribución regional de los requerimientos de agua para enfocar los esfuerzos en aquellas áreas con mayor estrés hídrico.

Figura 9 Extracción de agua de mar y continental por región en la minería del cobre 2022



La distribución del recurso hídrico en las diferentes regiones de Chile durante el año 2022 refleja una variabilidad significativa. En Arica y Parinacota, no se registró uso de agua continental, mientras que las extracciones de agua de mar fueron de 0,015 m³/seg. En Tarapacá, se destinaron 1,11 m³/seg de agua continental, mientras que no se empleó agua de mar.

La región de Antofagasta presentó extracciones de agua continental, con 3,71 m³/seg, y una cantidad significativa de agua de mar, 5,86 m³/seg. Por su parte, Atacama alcanzó los 1,12 m³/seg de agua continental y 0,27 m³/seg de agua de mar. Coquimbo registró una extracción de 1,32 m³/seg de agua continental, sin utilizar agua de mar.

Valparaíso destinó 1,23 m³/seg de agua continental, y en la Región Metropolitana (RM), se utilizaron 0,87 m³/seg de agua continental, sin emplear agua de mar. Finalmente, O'Higgins contó con 2,55 m³/seg de agua continental.

Este análisis regional refleja la variabilidad geográfica en la demanda y uso de agua en la minería del cobre a lo largo del país.

### Extracciones de agua por tipo de fuente

Para efectos de este estudio se consideran cuatro tipos de aguas para el abastecimiento o fuentes de extracción; las aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas adquiridas a terceros, en su conjunto se les agrupan como aguas continentales. Por otra parte está el cuarto tipo que son las aguas de mar, que pueden ser previamente desalinizadas o utilizadas directamente en el proceso minero.

*Figura 10 Fuentes de extracción de agua para el abastecimiento en la minería del cobre*



En el año 2022, se evidenció una distribución diversificada en las extracciones de agua dentro de la industria minera chilena. Entre estas fuentes hídricas, el agua de mar emergió como la más relevante, con un total de 6,15 m<sup>3</sup>/seg extraídos y utilizados en una variedad de procesos mineros.

Le siguen las fuentes subterráneas, con una extracción de 5,54 m<sup>3</sup>/seg, revelando su importancia continua en el suministro de agua para las operaciones mineras. Además, se adquirieron 1,48 m<sup>3</sup>/seg de agua a terceros, destacando la contribución de fuentes externas en el suministro de agua, un dato interesante es que en algunos casos la compra de este tipo de aguas a terceros corresponde a aguas industriales, lo que le da un nuevo uso a agua que ya se utilizó en otro proceso industrial.

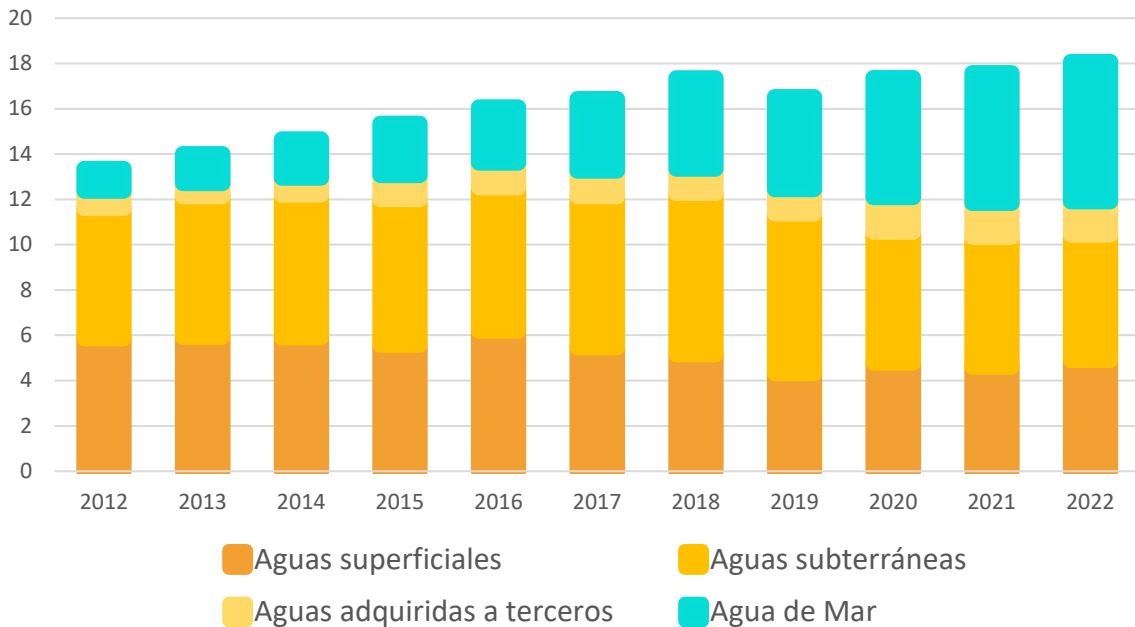
Las aguas superficiales también jugaron un papel esencial, con un total de 4,9 m<sup>3</sup>/seg extraídos. Sin embargo, es importante destacar que aún hay poco conocimiento e información detallada respecto a las fuentes subterráneas, por lo que es esencial que se realicen esfuerzos significativos para recopilar información precisa y completa sobre estas fuentes y así garantizar una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos en el país.

Figura 11 Extracciones de agua según fuente de abastecimiento en la minería del cobre año 2022



Al analizar la tendencia en los últimos 10 años se observa que en general, la tendencia en las extracciones de agua muestra una disminución notable en las aguas superficiales y subterráneas, lo que podría indicar una menor disponibilidad pero también una mayor conciencia de la importancia de la conservación del agua y una transición hacia fuentes de agua más sostenibles, como el agua de mar.

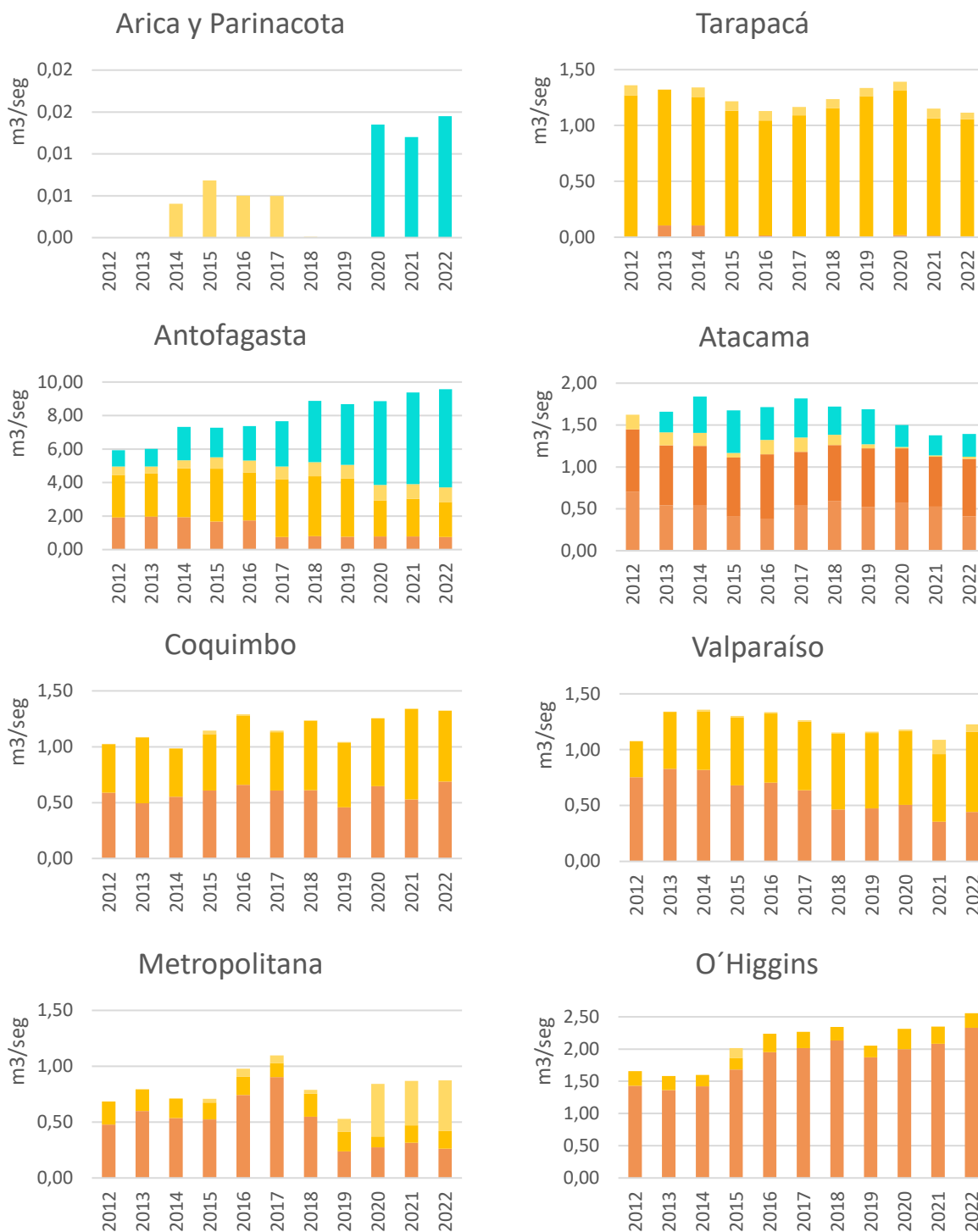
Figura 2 Tendencia de las extracciones de agua por fuente de abastecimiento en la minería del cobre 2012-2022



### Extracciones de agua por tipo de fuente según región

A continuación se presenta el análisis de las extracciones de agua por tipo de fuente según las regiones de Chile durante los últimos años:

Figura 13 Extracciones de agua según fuente de abastecimiento por región en la minería del cobre años 2012-2022



- Aguas superficiales
- Aguas subterráneas
- Aguas adquiridas a terceros
- Agua de Mar

## Uso operativo del agua en la minería del cobre

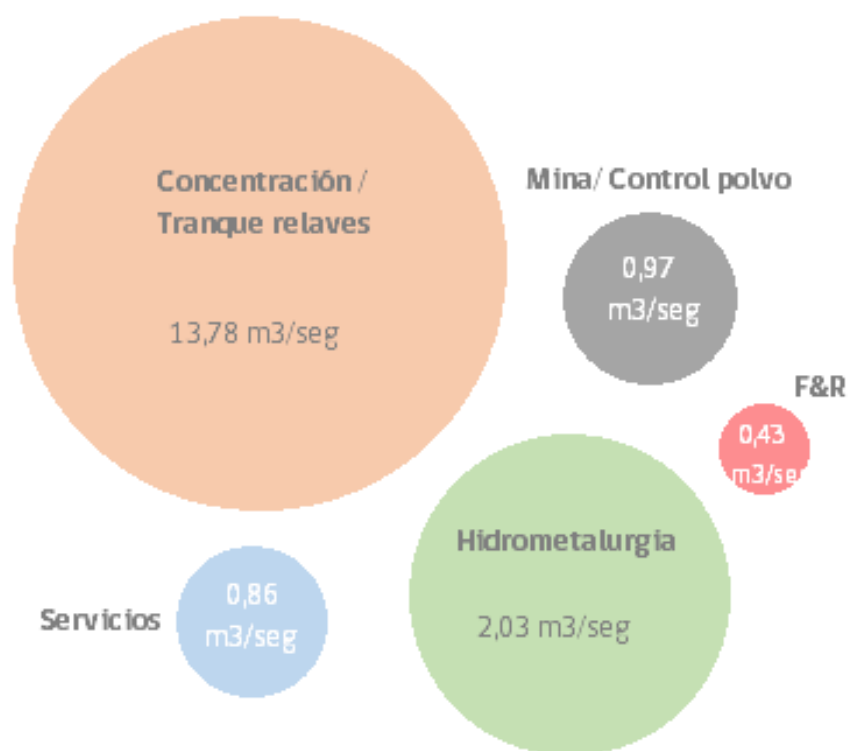
Figura 3 Principales tareas operacionales en la minería del cobre

Control de polvo	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.
Hidrometalurgia	Considera los procesos de lixiviación en pilas, la extracción por solventes y la electro obtención para la producción de cátodos. 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 (PLS).
Planta procesadora/ Concentración	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 (molienda secundaria), luego la flotación, clasificación y espesamiento. Las aguas residuales de los procesos pueden o no ser recirculadas al proceso desde los depósitos de relaves, como de los procesos de espesamiento y filtrado, entre otros.
Tranque de Relaves	Se considera como una tarea separada de la planta concentradora corresponde al agua en el almacenamiento de los residuos del procesamiento. Si bien el propósito principal de un tranque de relaves es almacenar residuos, en algunas circunstancias un tranque también puede almacenar agua temporalmente.
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. A la que se le aplica una corriente eléctrica, lográndose cátodos de alta pureza.
Servicios	Se agrupan todas aquellas actividades con volúmenes de consumo de agua poco significativos frente al total consumido en una operación minera. El principal uso del agua es para bebida, lavado, riego y baños en los campamentos, y otros consumos menores.

Para el año 2022, la tarea que representa el mayor consumo de agua en la minería del cobre es el **proceso de concentración** de minerales sulfurados para la obtención de concentrados, el cual representa el 76,2% de la entrada de aguas.

En segundo lugar se encuentra el consumo asociado al proceso de **hidrometalurgia** para la obtención de cátodos a partir de minerales oxidados, alcanzando un 11,2% del total, le sigue el agua mina generalmente utilizado para el control de polvo con un 5,4%, para **Servicios** que representa el 4,8%, se contabilizan las aguas utilizadas en campamentos, para riego, y otros procesos de menor consumo de agua. Finalmente la fundición y refinería representa el 2,4% de las extracciones de agua.

Figura 4 Uso operativo del agua en la minería del cobre 2022



A pesar del aumento en el uso de agua de mar, es evidente que la minería del cobre en Chile se basa principalmente en el uso de agua continental en la mayoría de los procesos. Esto destaca la importancia de la gestión sostenible de los recursos hídricos en la industria minera. La dependencia de agua continental plantea desafíos en términos de disponibilidad y sostenibilidad de los recursos hídricos, lo que subraya la necesidad de seguir investigando y desarrollando prácticas más eficientes y sostenibles en la industria minera.

## Salidas de agua en la minería del cobre

Las salidas operacionales de agua en el balance hídrico se refieren principalmente a dos componentes: el consumo de agua y las descargas de agua operativa.

### Consumo de Agua

El consumo de agua se divide en tres categorías:

- Evaporación: En 2022, la evaporación alcanzó un total de 6,02 m<sup>3</sup>/seg. La evaporación es un factor crucial que conduce a la pérdida de agua y está directamente relacionada con el *make up*, es decir, la cantidad de agua requerida para compensar el volumen perdido debido a este fenómeno.
- Pérdidas Operativas: Estas pérdidas se refieren al agua que se pierde durante las operaciones mineras o en las plantas de procesamiento debido a fugas, roturas, evaporación, y otros factores. En 2022, las pérdidas operativas ascendieron a 2,76 m<sup>3</sup>/seg.
- Pérdidas por Arrastre: Estas pérdidas se relacionan con la cantidad de agua que se arrastra con el producto o se encuentra en los residuos sólidos transportados fuera del sitio. Durante el año 2022, estas pérdidas fueron las más significativas, totalizando 7,96 m<sup>3</sup>/seg. Estas pérdidas pueden ocurrir en diversas etapas del proceso, como la descarga de relaves, el transporte de concentrados, la carga de camiones, entre otros. Medir y modelar las pérdidas por arrastre puede resultar desafiante debido a la complejidad del proceso y la variabilidad de las condiciones. No obstante, se pueden estimar mediante pruebas, como la medición del porcentaje de humedad del producto o la concentración de sólidos en el agua. La reducción de estas pérdidas es fundamental para mejorar la eficiencia operativa y minimizar el impacto ambiental.

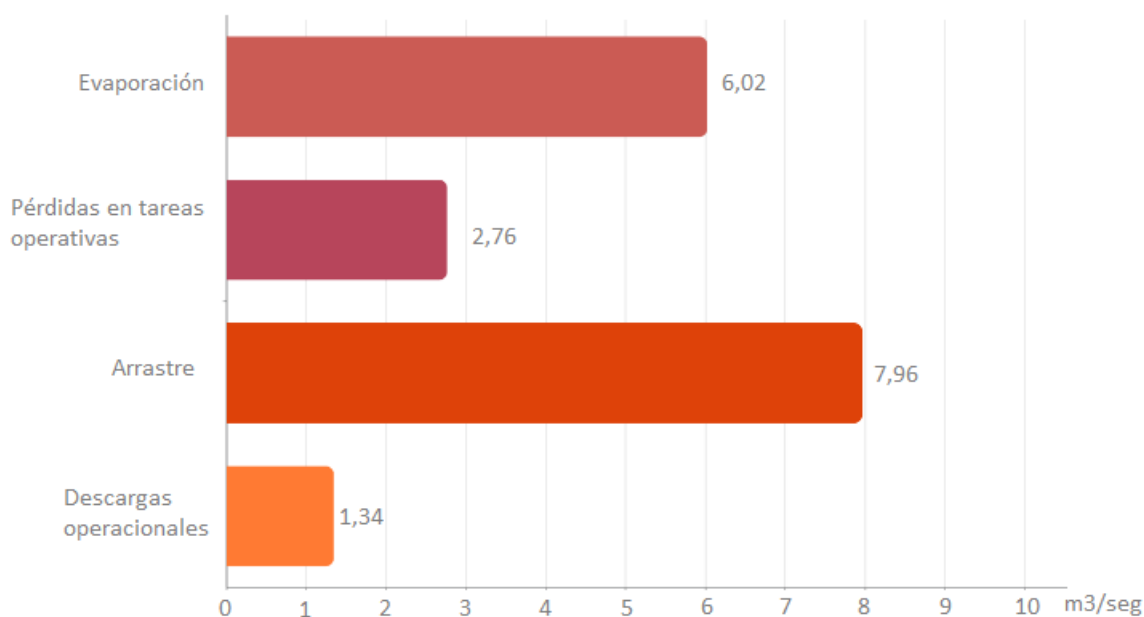
Importante aclarar la diferencia entre extracción y consumo, donde Extracción de agua corresponde al Volumen de agua que se retira de una fuente; por definición, las extracciones siempre son iguales o mayores al consumo, mientras que el Consumo de agua se refiere al volumen extraído que no se devuelve a la fuente (es decir, que se evapora o transporta a otro lugar), y por definición ya no se encuentra disponible para otros usos a nivel local.

### Descargas Operacionales

Las descargas operacionales se refieren al agua utilizada en las operaciones mineras o en las plantas de procesamiento, como agua de enfriamiento, agua para la producción, agua para la limpieza, entre otros. En 2022, las descargas de agua operacional totalizaron 1,34 m<sup>3</sup>/seg. La adecuada gestión y monitoreo de estas descargas son esenciales para minimizar su impacto ambiental y cumplir con los requisitos regulatorios. Esto implica la implementación de sistemas de tratamiento de agua, entre otras medidas.

La gestión adecuada de las salidas de agua es fundamental para reducir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad de las operaciones mineras. Las pérdidas de agua, ya sea por evaporación, pérdidas operativas o arrastre, deben ser monitoreadas y controladas de manera efectiva para garantizar un uso eficiente de este recurso valioso.

Figura 5 Salidas de agua en la minería del cobre 2022



### Otras aguas manejadas (OMW)

Según la guía del ICMM, el término "Otras Aguas Manejadas" o "OMW" ("Other Managed Water" en inglés), se refiere a las aguas que no se utilizan directamente en las operaciones de la mina o planta de procesamiento, pero que aún son gestionadas en el sitio. Es esencial monitorear y gestionar adecuadamente las "otras aguas manejadas" para minimizar su impacto ambiental y cumplir con los requisitos regulatorios.

Hasta el año 2020, los informes de agua de Cochilco no hacían mención de estas aguas. Por lo tanto, al comparar y analizar las tendencias en los últimos años, se consideran principalmente las aguas operacionales declaradas en la encuesta.

Para el año 2022, las "Otras Aguas Manejadas" totalizaron 1,08 m³/seg, mientras que en 2021 fue de 0,72 m³/seg. Casi la mitad de esta agua corresponde a aguas de desvío, que se desvían a través de un canal o acueducto y no ingresan a las operaciones. El resto, en su mayoría, se extrae y descarga exclusivamente para abastecer a terceros, como las comunidades locales cercanas. La gestión adecuada de estas aguas desempeña un papel crucial en la sostenibilidad y en el cumplimiento de las obligaciones con las comunidades circundantes.



#### **iv. Indicadores de gestión de agua en la minería del cobre**

Los indicadores son estadísticas o medidas que se relacionan con una condición, cambio de calidad o cambio de estado de algo valorado. Se seleccionan para proporcionar información sobre el funcionamiento de un sistema específico o un propósito específico para apoyar la toma de decisiones y la gestión. Tienen potencial para ser utilizados como herramienta en términos de proporcionar una base para informar la acción de planificación y determinar la sostenibilidad de los resultados de la planificación.

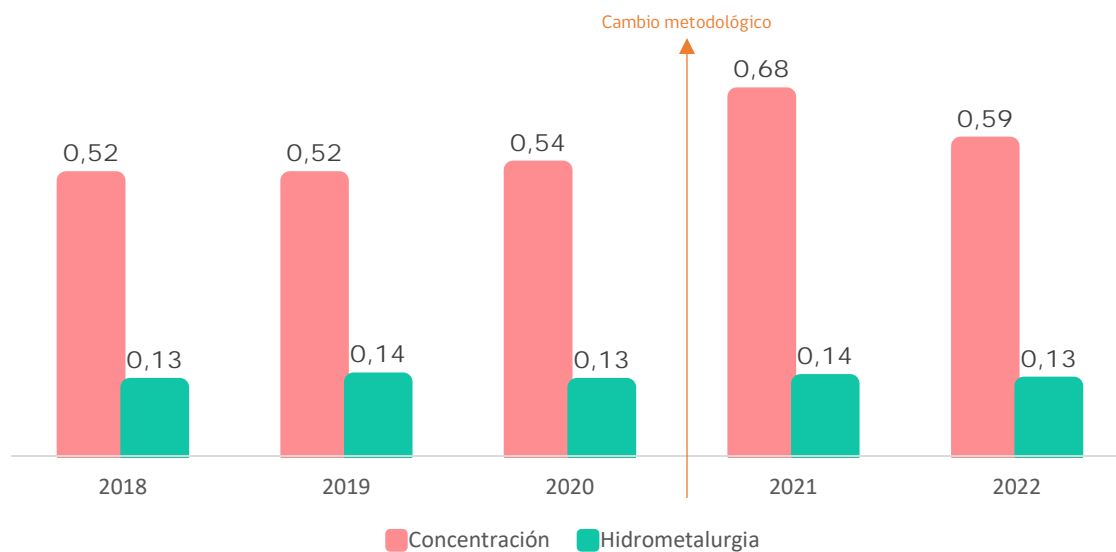
Seleccionar indicadores relevantes es necesario para monitorear la implementación de las políticas y proporcionar la retroalimentación necesaria para lograr el estado deseable de desarrollo sostenible.

#### **Make up**

A medida que el uso de agua de mar se ha incorporado en la minería del cobre, se hace cada vez más difícil separar las entradas de agua al sistema, por lo que resulta necesario utilizar el indicador de *make up* ya que el consumo unitario de agua continental implica una subestimación del consumo de agua, pues las faenas con abastecimiento de agua de mar tienen un consumo nulo de agua en el proceso, lo que no refleja la eficiencia del proceso. El uso de agua operacional es, por lo tanto, el volumen real de agua requerida o utilizada para sostener las actividades operativas.

El indicador *make up* se calcula como el volumen total de agua "nueva" consumida por tonelada/unidad de mineral procesado y/o producto final, según corresponda a la instalación operativa. El objetivo es mostrar la intensidad del uso de agua. Este parámetro busca permitir a la industria desarrollar una variable para fines comparativos y de supervisión del desempeño.

Es importante señalar que las leyes del mineral juegan un rol fundamental, ya que para obtener una misma cantidad de cobre fino, será necesario procesar una mayor o menor cantidad de mineral dependiendo de su porcentaje de contenido de cobre. En efecto, el agotamiento de los yacimientos requiere un mayor procesamiento de mineral para obtener la misma cantidad de cobre fino. Es por ello que NO se utiliza la producción de cobre fino para evitar distorsiones producto de factores geológicos tales como la ley del mineral y la razón estéril mineral, u otras variables, como la recuperación metalúrgica.

Figura 17 Make up en concentración e hidrometalurgia 2018-2022 (m<sup>3</sup>/ton\_min)

A partir del año 2018, Cochilco recopila información sobre las entradas de agua, ya sea continental y/o de mar, necesarias para tratar una tonelada de mineral. Esto considera la cantidad de agua que debe ingresar al proceso, excluyendo las aguas recirculadas o recuperadas.

Este gráfico nos muestra la intensidad de uso de agua "nueva", independiente si es de mar o continental, que debe ingresar al proceso para mantener la operación. Para el año 2022 el *make up* en concentradora e hidrometalurgia mejoró en comparación al año anterior, lo que significa que hay un mejor uso del agua en esos procesos.

Cabe mencionar que este valor es una estimación del uso de agua en cada proceso y puede tener un margen de error. La nueva metodología de encuesta se comenzó a aplicar en el año 2021, por lo que la reportabilidad está sujeta a posibles interpretaciones de conceptos. Si bien el cálculo de este indicador puede estar sujeto a distintas interpretaciones y a posibles mejoras, en general, nos muestra la intensidad de uso del agua en la concentración, lo que nos proporciona información valiosa sobre el proceso y donde es conveniente gestionar eficazmente, entendiendo que esta tarea incluye el depósito de relaves.

## Eficiencia operacional

Si bien la guía propuesta por el ICMM (2020) recomienda utilizar los volúmenes de reutilización/reciclaje en lugar de informar los porcentajes de eficiencia, haciendo mención explícita a la guía del WAF<sup>4</sup> publicada en 2021, la guía de la WAF plantea la eficiencia operativa como una combinación de las métricas de reúso y reciclaje para proporcionar una métrica de eficiencia general que refleja el reúso y el reciclaje totales en la instalación.

Bajo el esquema del ICMM y WAF las aguas recirculadas no se contabilizan, pero considerando la información histórica y la importancia de los espesadores en la optimización del uso del agua en la minería del cobre, se pide la información de manera desagregada para poder hacer futuras comparaciones con la información de otros años.

En la nueva metodología que busca alinear los conceptos con la guía propuesta por el ICMM, se solicita un mayor detalle. De esta manera, podemos separar los flujos de recirculación desde espesadores o el caudal de refino en hidrometalurgia que se da dentro del mismo proceso, de las recuperaciones de agua de otros procesos. Estos procesos pueden incluir la recuperación de piscinas de aguas claras, recuperaciones de drenes, sistemas de remediación, barreras hidráulicas y otras recuperaciones que van desde un proceso a otro.

Los volúmenes de aguas recuperadas durante el año 2022 se muestran en la siguiente tabla:

Figura 6 Tabla recirculación y reutilización de agua operacional 2022.

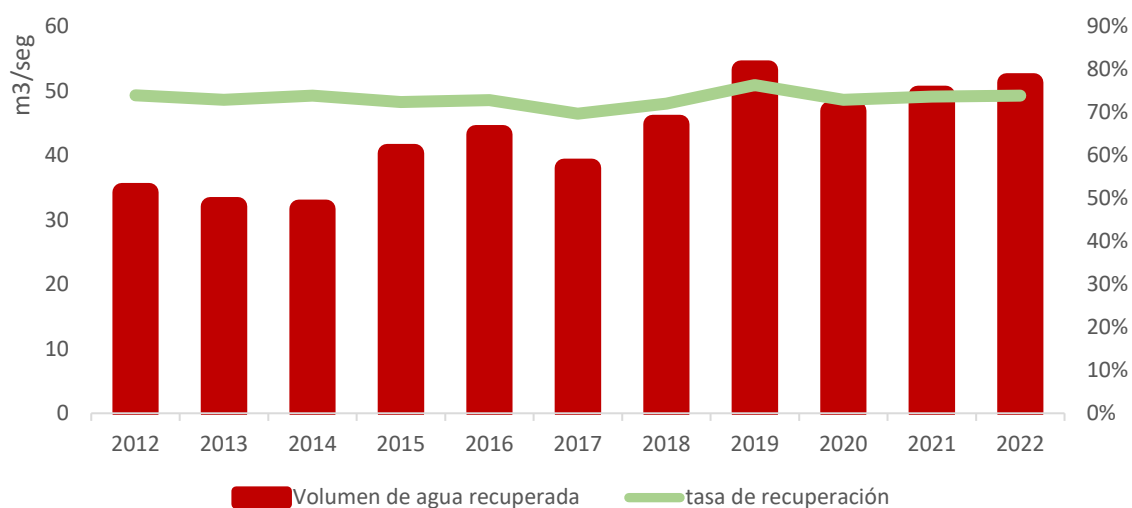
MÉTRICA	ENFOQUE	VALOR	UNIDAD
Recirculación y Reutilización de agua operacional	Recirculación en hidrometalurgia (caudal de refino hacia lixiviación)	17,824	m3/seg
	Recirculación desde espesadores	24,743	m3/seg
	Recuperación de agua en piscinas de aguas claras	5,960	m3/seg
	Otras recuperaciones de agua (drenes, sistemas de remediación, barreras hidráulicas)	1,064	m3/seg
	Recuperación de aguas en planta de tratamiento de aguas	0,150	m3/seg
	Aguas desde planta procesadora a depósito de relaves	17,660*	m3/seg
	Otras aguas que van desde una tarea a otra	1,598	m3/seg
<b>TOTAL AGUAS RECIRCULADAS Y REUTILIZADAS</b>		<b>51,338</b>	<b>m3/seg</b>

(\*) Es un parámetro ICMM pero no se considera en la metodología que utiliza Cochilco hace años, por lo tanto no se suma en el total.

<sup>4</sup> MCA (2021), Water Accounting Framework for the Minerals Industry: User Guide, Version 1.4.

Aplicando la metodología de Cochilco<sup>5</sup>, obtenemos para el año 2022 un volumen de agua recuperada de 51,338 m<sup>3</sup>/seg. Esto incluye aguas de reúso, aguas recicladas y aguas recirculadas. Esto se traduce en una tasa de eficiencia del 73,97%, lo que demuestra un aumento en comparación con el año anterior, que fue del 73,8%.

Figura 19 Tendencia volumen de agua recuperada y tasa de recuperación en la minería del cobre 2012-2022



<sup>5</sup> Esta metodología difiere de la propuesta por ICMM ya que no considera las aguas desde la planta procesadora al depósito de relaves y si considera las aguas recirculadas en el proceso, como caudal de refinó y agua recirculada desde espesadores.

## v. Agua de mar y desalinización

En un esfuerzo por abordar el cambio climático, la industria minera en Chile ha centrado sus esfuerzos en alcanzar la sostenibilidad hídrica. Una estrategia clave ha sido el fomento de la utilización de agua de mar mediante procesos de desalinización, reduciendo así la dependencia de fuentes continentales de agua.

Este enfoque es especialmente relevante dado que muchas de las principales operaciones mineras del país se encuentran en zonas áridas, como el desierto de Atacama. Además, el futuro de la relación entre la minería, el agua y las comunidades está ineludiblemente ligado a la desalinización y el reúso del agua.

Para el año 2022, de los 6,15 m<sup>3</sup>/seg de agua de mar utilizados en la minería del cobre, un 65% (3,97 m<sup>3</sup>/seg) fue agua previamente desalinizada, mientras el 35% (2,18 m<sup>3</sup>/seg) fue agua de mar utilizada directamente en los procesos.



La desalinización del agua de mar ha demostrado ser beneficiosa para la industria minera, especialmente en regiones con escasez de recursos hídricos. No obstante, la decisión de implementar esta solución debe tener en cuenta factores como los costos, el impacto ambiental, el consumo de energía y las condiciones locales. Si bien varias faenas se benefician de la desalinización, no es necesariamente una solución estándar para todas. Para avanzar en el desarrollo de la sostenibilidad en la industria minera, es fundamental adoptar un enfoque multivariable. Esto implica que las estrategias y acciones deben ser adaptadas según diversos factores, incluyendo el tipo de minerales extraídos, el contexto ambiental y social, así como los valores y las prioridades de las empresas.

El desarrollo de la desalinización se ha convertido en una respuesta crucial a la escasez de agua tanto para el consumo humano como para las actividades productivas. Desde esta perspectiva, se considera una medida de adaptación esencial y puede beneficiarse a corto plazo mediante un mecanismo alineado con la legislación ambiental de Chile.

En términos de marco normativo, actualmente, la actividad de desalinización carece de una regulación especial y se somete a las reglas de evaluación de impacto ambiental según la Ley 19.300 de Bases Generales de Medio Ambiente. Esta falta de regulación específica plantea desafíos significativos, ya que se evidencia un marco regulatorio débil para la desalinización. Por lo tanto, es necesario diseñar un marco normativo que permita el desarrollo de proyectos altamente efectivos y que aumenten la resiliencia del suministro de agua con impactos ambientales mínimos.

y socialmente aceptables. Además, se requiere un sistema de observación de costas más robusto y líneas bases adecuadas que aborden la falta de datos necesarios para la evaluación de impacto ambiental.

En cuanto a la energía necesaria para la desalinización e impulsión del agua de mar, es importante destacar que este proceso ha experimentado un crecimiento significativo en su consumo de electricidad en la minería del cobre. Dado que el agua continental en el norte de Chile es cada vez más escasa, la desalinización y la impulsión del agua de mar a las operaciones mineras se han convertido en una solución crucial. Este incremento en el consumo eléctrico para la impulsión y desalinización de agua en la minería del cobre se ha multiplicado aproximadamente 11,7 veces en la última década, pasando de 658 TJ en 2012 a 8.740 TJ en 2022. Esto representa el 69% del consumo eléctrico en servicios y el 8,9% del consumo eléctrico total de la minería en 2022.

Este aumento demuestra que la desalinización es una solución ante las crecientes restricciones de agua continental que afectan gran parte del territorio minero de Chile. Por lo tanto, es esencial que las políticas públicas y los planes de desarrollo de estos sistemas se ajusten y consideren aspectos como el suministro eléctrico, la disposición de terrenos para los ductos de impulsión y la ubicación de las plantas de desalación. Además, un enfoque de manejo integrado de cuencas es necesario para evaluar ambientalmente la acumulación de plantas desalinizadoras en una zona y debe ser una herramienta de planificación fundamental.

Esta combinación de desalinización, regulación efectiva y gestión eficiente de la energía es esencial para garantizar la sostenibilidad hídrica en la industria minera en Chile.

## **vi. Comentarios finales**

El equilibrio entre el crecimiento de la industria minera y la sostenibilidad ambiental y social representa un desafío crucial que demanda un enfoque multidimensional, la integración de tecnología avanzada y la colaboración entre diversas partes interesadas. La gestión del agua desempeña un papel fundamental en la transición hacia un modelo de desarrollo sostenible que resguarde los recursos de manera equitativa y ofrezca soluciones a la actual crisis climática. A continuación, se detallan algunos aspectos fundamentales para analizar la complejidad y la importancia de la gestión del agua en la industria minera en Chile:

### **i. Optimización del uso del agua en la minería del cobre:**

Con relación a la eficiencia detrás del uso de agua, probablemente la estrategia más utilizada es su recirculación y el reúso. Se han perfeccionado los procesos de filtración y espesamiento, además de la exploración de tecnologías más eficientes. Estas mejoras se han complementado con sistemas de monitoreo y control del agua, destinados a prevenir o minimizar pérdidas, confirmar su disponibilidad y garantizar un uso eficaz. Sin embargo aún necesitamos avanzar más en la gestión del uso operativo del agua en los procesos, de manera de utilizar una menor cantidad de agua para el procesamiento de los minerales.

### **ii. Automatización**

En el ámbito de la gestión del agua, la automatización, la tecnología de sensores y los dispositivos de control están ya ofreciendo mayores niveles de inteligencia de los sistemas mineros, proporcionando información en tiempo real sobre el uso del agua de la mina. Esto permite optimizar la cantidad de agua utilizada en cada proceso, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia en el uso del agua. La analítica avanzada también es útil para identificar áreas con margen para mejoras adicionales. La aplicación de nuevas tecnologías inteligentes representa un área que podría experimentar un crecimiento significativo en el corto y mediano plazo. Algunas aplicaciones clave incluyen una mayor precisión, monitoreo en tiempo real, predicciones y recomendaciones, mantenimiento predictivo, trazabilidad y cumplimiento normativo.

### **iii. Integración de ESG en minería**

La integración de factores ESG (ambientales, sociales y de gobernanza) en los procesos de gobernanza y modelo operativo permite a las empresas mineras incorporar gradualmente estos factores en su cultura operativa para tener un impacto positivo duradero en el medio ambiente y la sociedad en general. Aunque el panorama ESG es complejo y en constante evolución, su valor depende la capacidad de las empresas mineras para transmitir efectivamente la importancia de estos factores en el sitio.

Solo las empresas capaces de garantizar la sostenibilidad a largo plazo, centrándose en el refuerzo de la investigación y el desarrollo, disfrutarán de una ventaja competitiva global en la industria minera en los próximos años<sup>6</sup>.

#### iv. Legislación y normativa

La nueva legislación sobre cambio climático y los compromisos asumidos recientemente por Chile en el marco de la mitigación y adaptación al cambio climático ofrecen nuevas oportunidades para introducir normativa y estándares actualizados. Siguiendo la propuesta de la Universidad de Chile de establecer un Comité Asesor de Investigación Asociativa<sup>7</sup> y un equipo de investigación interdisciplinaria con representantes de diferentes grupos de interés, se busca proporcionar certezas a la opinión pública y reducir las barreras en la implementación y operación, contribuyendo así al desarrollo del país. Se plantea la necesidad de construir un modelo de desarrollo sustentable que resguarde los recursos de manera equitativa a través de una gobernanza capaz de abordar un problema complejo mediante acciones concretas que apunten a resolver los desafíos planteados por la crisis climática.

#### v. Proyecciones de crecimiento de la industria minera

De acuerdo a la cartera de proyectos elaborada por Cochilco<sup>8</sup>, se espera que Chile alcance una producción de cobre de 6,58 millones de toneladas al año 2033, a una tasa de crecimiento promedio de 1,3%, con un *peak* productivo en el año 2030 de 7,14 millones de toneladas. La producción hidrometalúrgica en la próxima década pasaría de una participación de 25,1% de la producción total en 2021, a un 6,3% de participación hacia 2033, es decir una caída de 70,6%. Mientras que la producción de concentrados en nuestro país crecería un 46,4% entre los años 2021 y 2033, pasando de 4,21 millones de toneladas a 6,17 millones de toneladas. Esto con su consecuente efecto en el consumo de agua dada la intensidad de uso del proceso de concentración en comparación con la hidrometalurgia.

#### vi. Política nacional minera 2050

Con respecto a las metas en relación al agua que establece la política nacional minera, la meta 34 corresponde a "Disminuye el porcentaje de agua continental usada en la industria minera, no superando el 10% de las aguas totales utilizadas al 2025 y el 5% al 2040, promoviendo otras fuentes que no compitan con el consumo humano".

De acuerdo a los datos recopilados por Cochilco, para la minería del cobre tenemos que al año 2022 las aguas continentales representaron el 16%, porcentaje que ha ido disminuyendo año a año, pero deja en evidencia que aún nos falta para lograr la meta.

---

<sup>6</sup> Gestión, tratamiento y reutilización de agua para el sector minero en Latinoamérica, Almar Water Solutions ([www.iagua.es](http://www.iagua.es))

<sup>7</sup> Policy Brief, Propuesta de co-creación de conocimiento para minimizar impactos socio-ambientales y viabilizar la inversión, Universidad de Chile (Enero/2023)

<sup>8</sup> Proyección de la producción de cobre en Chile 2022-2033, Cochilco, 2022.



## Anexos

### Anexo 1. Listado empresas encuestadas

Región	Empresa	Operación
Antofagasta	Codelco	Chuquicamata
Antofagasta	Codelco	Radomiro Tomic
Antofagasta	Codelco	Ministro Hales
Antofagasta	Codelco	Gabriela Mistral
Atacama	Codelco	Salvador
Valparaíso	Codelco	Ventanas
Valparaíso	Codelco	Andina
O'Higgins	Codelco	El Teniente
Antofagasta	KGHM	Sierra Gorda
Tarapacá	BHP	Cerro Colorado
Antofagasta	BHP	Escondida
Antofagasta	BHP	Spence
Antofagasta	Capstone	Mantos Blancos
Atacama	Capstone	Mantoverde
Antofagasta	Glencore	Fundición Altonorte
Coquimbo	Teck	Carmen de Andacollo
Tarapacá	Teck	Quebrada Blanca
Antofagasta	AMSA	Zaldivar
Antofagasta	AMSA	Centinela
Antofagasta	AMSA	Antucoya
Coquimbo	AMSA	Los Pelambres
Antofagasta	Glencore	Lomas Bayas
Tarapacá	Collahuasi	Collahuasi
Antofagasta	Freeport McMoran	El Abra
RM	AngloAmerican	Los Bronces
Valparaíso	AngloAmerican	El Soldado
Valparaíso	AngloAmerican	Fundición Chagres
Atacama	Lumina Copper (antes de la compra de Lundin)	Caserones
Atacama	Lundin Mining	Candelaria
Atacama	Lundin Mining	Ojos del salado
Valparaíso	Cia. Minera La Patagua	La Patagua
Atacama	SCM Atacama Kozan	Atacama Kozan
Valparaíso	Grupo Minero Las Cenizas	Las Cenizas Cabildo
Antofagasta	Grupo Minero Las Cenizas	Las Cenizas Taltal
Antofagasta	Grupo Minero Las Cenizas	Franke
Antofagasta	Cia. Mantos de la luna	Grace
Antofagasta	Haldeman	Michilla y Tambo de Oro
Coquimbo	Minera Cruz Ltda.	Minera Cruz
Arica y Parincota	Pampa Camarones Ltda.	Pampa Camarones
Atacama	Pucobre	Pucobre
Coquimbo	Minera San Geronimo	San Geronimo
O'Higgins	Minera Valle Central	Valle Central
Coquimbo	Minera Tres Valles	Tres Valles
Atacama	ENAMI	Enami - FHVL
Coquimbo	ENAMI	Enami - Planta Delta
Atacama	ENAMI	Enami - Planta Vallenar
Atacama	ENAMI	Enami - Planta Matta
Antofagasta	ENAMI	Enami - Planta Taltal
Atacama	ENAMI	Enami - Planta El Salado
Valparaíso	Compañía minera Cerro Negro	Cerro Negro
Atacama	Grupo minero Carola-Coemin	Carola
Valparaíso	CEMIN	Cemin - Amalia Catemu

Anexo 2. Formato encuesta recursos hídricos

Métrica	Fuente/Destino	Enfoque	Volumen	Unidad
Total extracción de agua para operación	Agua superficial	Embalses artificiales		lts/seg
		Lagos		lts/seg
		Ríos		lts/seg
		Aguas lluvias y escorrentías		lts/seg
	Agua subterránea	Aguas del minero		lts/seg
		Acuíferos		lts/seg
		Humedad contenida en el mineral		lts/seg
	Agua de Mar	Agua desalada		lts/seg
		Agua de mar sin desalar		lts/seg
	Agua adquirida a terceros	Aguas de reúso/industrial		lts/seg
Aguas continentales			lts/seg	
Aguas de mar			lts/seg	
Total extracción de Otras aguas manejadas	Dewatering (solo si no es utilizada en la operación)			lts/seg
	Sistemas de manejo de aguas lluvias			lts/seg
	Extracciones de agua para entregar a terceros y/o comunidades			lts/seg
	Otras			lts/seg
TOTAL EXTRACCIÓN DE AGUA PARA LA OPERACIÓN Y OTRAS AGUAS (INPUT)			0,00	lts/seg
Total Descargas de agua operacional	Agua superficial	Descargas a flujos superficiales		lts/seg
	Agua subterránea	Reinyección de acuíferos		lts/seg
	Agua de Mar	Infiltraciones		lts/seg
	Agua a terceros			lts/seg
Total Descargas de Otras aguas manejadas	Descargas de agua para entregar a terceros y/o comunidades			lts/seg
		Otras descargas de aguas no operacionales		lts/seg
TOTAL DESCARGAS DE AGUA PARA LA OPERACION Y OTRAS AGUAS (OUTPUT)			0,00	lts/seg
Total consumos operacionales	Evaporación	Evaporación en pilas de lixiviación		lts/seg
		Evaporación de agua en relaves		lts/seg
		Evaporación de agua en caminos		lts/seg
		Otras fuentes de evaporación		lts/seg
	Pérdidas en tareas operativas (Uso consuntivo)	Mina		lts/seg
		Planta Concentradora		lts/seg
		Depósitos de Relaves		lts/seg
		Hidrometalurgia		lts/seg
		Servicios		lts/seg
		Fundición		lts/seg
		Refinería		lts/seg
		Otras pérdidas operativas		lts/seg
	Arrastre	Agua contenida en concentrados		lts/seg
		Agua retenida en relaves		lts/seg
Agua retenida en rípios			lts/seg	
Otros consumos por arrastre			lts/seg	
Total consumos Otras aguas manejadas				lts/seg
TOTAL CONSUMOS OPERACIONALES Y NO OPERACIONALES			0,00	lts/seg
Delta almacenamiento en el periodo contable			0,00	lts/seg
Recirculación y Reutilización de agua operacional	Recirculación en hidrometalurgia (caudal de refino hacia lixiviación)			lts/seg
	Recirculación desde espesadores			lts/seg
	Recuperación de agua en piscinas de aguas claras			lts/seg
	Otras recuperaciones de agua (drenes, sistemas de remediación, barreras hidráulicas)			lts/seg
	Recuperación de aguas en planta de tratamiento de aguas			lts/seg
	Aguas desde planta procesadora a depósito de relaves			lts/seg
	Otras aguas que van desde una tarea a otra			lts/seg
Uso operativo del agua	Agua Mina			lts/seg
	Control de polvo			lts/seg
	Planta Concentradora			lts/seg
	Depositos de Relaves			lts/seg
	Hidrometalurgia			lts/seg
	Servicios			lts/seg
	Fundición			lts/seg
	Refinería			lts/seg
Otras tareas operativas			lts/seg	

## Anexo 3. Tabla porcentaje de aguas continentales respecto al total 2012-2022

(m3/seg)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>AGUA CONTINENTAL</b>	12,38	12,72	12,95	13,07	13,61	13,26	13,36	12,45	12,09	11,22	11,29
<b>AGUA DE MAR</b>	0,98	1,29	1,71	2,27	2,45	3,16	3,99	4,06	5,28	5,73	6,15
<b>AGUA RECUPERADA</b>	34,29	32,14	31,71	40,38	43,27	38,07	44,87	53,33	46,98	49,39	51,34
<b>AGUA DE REÚSO/ INDUSTRIAL</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,63	0,63
<b>AGUAS TOTALES</b>	47,65	46,14	46,37	55,73	59,33	54,49	62,22	69,84	64,34	66,97	69,41
<b>PARTICIPACIÓN AGUA CONTINENTAL</b>	26%	28%	28%	23%	23%	24%	21%	18%	19%	17%	16%

## Anexo 4. Tablas datos agua 2012-2022

## 4.1 Extracciones de agua según fuente de abastecimiento 2012-2022 (lts/seg)

	Unidad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Aguas Superficiales	lts/seg	ND	5.867	5.942	5.908	5.577	6.206	5.463	5.153	4.328	4.794	4.603	4.903
Aguas Subterráneas	lts/seg	ND	5.749	6.200	6.302	6.430	6.332	6.667	7.122	7.053	5.782	5.742	5.537
Aguas adquiridas a terceros	lts/seg	ND	763	577	742	1.064	1.077	1.133	1.083	1.069	1.514	1.499	1.478
Aguas de mar	lts/seg	713	978	1.287	1.707	2.275	2.446	3.162	3.993	4.062	5.277	5.732	6.152
<b>TOTAL PAÍS</b>	<b>lts/seg</b>	-	<b>13.357</b>	<b>14.006</b>	<b>14.658</b>	<b>15.347</b>	<b>16.060</b>	<b>16.426</b>	<b>17.351</b>	<b>16.512</b>	<b>17.366</b>	<b>17.576</b>	<b>18.070</b>

## 4.2 Uso operativo del agua según proceso

	Unidad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Concentración	lts/seg	8.856	9.190	9.079	8.947	9.201	9.708	8.902	8.085	7.995	7.100	7.894	8.859
Hidrometalurgia	lts/seg	1.778	1.384	1.751	1.705	2.008	1.930	1.845	1.729	1.693	1.374	1.452	1.216
Mina/control de polvo	lts/seg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	675	637	481	762	672
Fundición y Refinería	lts/seg	ND	ND	566	551	523	640	539	518	426	418	519	433
Servicios/ Otros	lts/seg	1.930	1.804	1.324	1.748	1.339	1.337	1.978	2.082	1.396	2.304	984	738
Agua adquirida a terceros	lts/seg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	269	304	413	233	(*)
<b>TOTAL PAÍS / CHILE TOTAL</b>	<b>lts/seg</b>	<b>12.564</b>	<b>12.379</b>	<b>12.719</b>	<b>12.951</b>	<b>13.072</b>	<b>13.614</b>	<b>13.264</b>	<b>13.358</b>	<b>12.451</b>	<b>12.089</b>	<b>11.844</b>	<b>11.918</b>

- Concentración incluye depósito de relaves

## 4.3 Agua de mar en la minería del cobre

<b>Año</b>	<b>Unidad</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
Desalada	lts/seg	223	369	581	885	965	834	1.532	2.117	2.224	3.316	3.566	3.971
Salobre	lts/seg	490	609	706	822	1.309	1.612	1.630	1.876	1.838	1.961	2.166	2.181
<b>TOTAL</b>	<b>lts/seg</b>	<b>713</b>	<b>978</b>	<b>1.287</b>	<b>1.707</b>	<b>2.275</b>	<b>2.446</b>	<b>3.162</b>	<b>3.993</b>	<b>4.062</b>	<b>5.277</b>	<b>5.732</b>	<b>6.152</b>

## 4.4 Recuperación de agua en la minería del cobre (recirculación, reúso y reciclaje)

	<b>Unidad</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
Agua recuperada total	lts/seg	25.367	34.291	32.138	31.708	40.382	43.269	38.069	44.867	53.325	46.977	49.394	51.338
Tasa de recirculación total promedio	%	68,7%	74,0%	73,0%	73,9%	72,5%	72,9%	69,7%	72,1%	76,4%	73,0%	73,8%	74,0%

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

**Camila Montes**

Coordinadora de Estrategias y Políticas Públicas

**Patricia Gamboa**

Directora de Estudios y Políticas Públicas

Noviembre / 2023

