



Consumo de Agua en la Minería del Cobre

Actualización al año 2023

DEPP 19/2024
RPI 2024-A-10346



Comisión Chilena del Cobre

Resumen Ejecutivo

En un contexto de creciente escasez hídrica debido al cambio climático y las tendencias globales de sostenibilidad, y ante la mayor demanda de agua en la industria minera, es crucial gestionar el recurso de manera transparente. La entrega de información oportuna y la colaboración con las partes interesadas son esenciales para generar confianza y crear valor compartido. Este informe analiza datos agregados de 51 operaciones mineras, incluidas faenas de gran y mediana minería, fundiciones y refinerías, recopilados mediante la Encuesta de Producción, Agua y Energía (EMPAE).

Al analizar el año 2023, el volumen de agua que ingresó para uso operativo en la minería del cobre fue de 73,02 m³/s, de los cuales 16,5% corresponde a aguas continentales, un 9,3% a agua de mar y un 74,2% a aguas recuperadas y recirculadas.

El total de agua fresca extraída desde alguna fuente de abastecimiento en 2023 fue de 18,83 m³/s para las operaciones mineras. De este volumen, el 64% provino de fuentes continentales y el 36% de agua de mar. El proceso de concentración de minerales sulfurados representó el 76,0% del consumo total de agua en la minería del cobre, seguido por el proceso de hidrometalurgia con un 11,2%. Es importante señalar que, aunque en la última década ha disminuido el uso de aguas continentales, este cambio no refleja una mayor eficiencia hídrica, sino un reemplazo por agua de mar, por lo que de ser posible, se debe perseverar y continuar avanzando en oportunidades para mejorar la eficiencia en el consumo de agua.

En el caso particular del agua de mar, al 2023 alcanzó los 6,81 m³/s, de los cuales 2,09 m³/s corresponden a agua de mar utilizada sin desalar, mientras que 4,73 m³/s es de agua previamente desalinizada. Respecto del 2022, el uso de agua de mar aumentó un 11%.

Una gestión hídrica eficiente impacta directamente en el uso de agua en cada proceso, sin importar su origen. La desalinización de agua de mar se ha convertido en una solución clave para enfrentar la escasez hídrica en la minería, pero su implementación debe considerar costos, impacto ambiental, consumo energético y las condiciones locales. La falta de regulación específica resalta la necesidad de un marco normativo que promueva la sostenibilidad y fomente la innovación en tecnologías más eficientes y menos invasivas.

En resumen, la gestión sostenible del agua es crucial para el éxito de la industria minera de cobre en Chile, especialmente ante los desafíos de escasez hídrica y el contexto ambiental actual. Un enfoque adaptativo y multivariable es esencial para avanzar hacia la sostenibilidad, y la desalinización emerge como una solución clave al diversificar las fuentes de agua y reducir la dependencia de las aguas continentales. Es fundamental complementar esta tecnología con políticas que fomenten la eficiencia en el consumo y el desarrollo de marcos regulatorios que aseguren su implementación responsable.



Contenidos

1.	Introducción	1
	Riesgos y Desafíos sobre Consumo de Agua en la Minería del Cobre	2
2.	Balance Hídrico de la Minería del Cobre	4
3.	Uso y Consumo del Agua en la Minería del Cobre	7
	Ingresos de Agua en la Minería del Cobre: Extracción y Recirculación	7
	Extracción de Agua en la Minería del Cobre	9
	Recuperación y Recirculación de Agua en la Minería del Cobre	15
	Salidas de Agua en la Minería del Cobre.....	17
	Consumo Operacional Total.....	17
	Consumo Operacional por Proceso.....	18
	Descargas Operacionales	20
	Otras Aguas Manejadas (OMW).....	20
4.	Indicador de Gestión de Agua en la Minería del Cobre	21
	Make Up.....	21
5.	Agua de Mar y Desalinización en la Minería del Cobre.....	23
6.	Comentarios Finales	26
	Anexos	28
	Anexo A: Metodología del Estudio.....	28
	Anexo B: Tablas consumo de agua para el periodo 2013-2023.....	30
	Anexo C: Operaciones Mineras Encuestadas.....	32



1. Introducción

El propósito de este informe es dar a conocer sobre las extracciones y el consumo de agua en los diversos procesos de la minería del cobre, mejorar la disponibilidad y transparencia de la información sectorial en temas críticos, y proporcionar una base sólida para el análisis de las discusiones públicas vinculadas al recurso hídrico y la minería. Además, busca contribuir al seguimiento del desarrollo sustentable de la minería en cuanto al consumo de agua y su reutilización. La metodología utilizada en este estudio corresponde al procesamiento de datos, clasificación y análisis de la información entregada en la **Encuesta de Producción, Agua y Energía (EMPAE)**, cuyo detalle se encuentra en el Anexo A.

El agua es un recurso fundamental para la vida y el desarrollo económico, pero su disponibilidad y calidad están bajo crecientes presiones globales, incluyendo el crecimiento poblacional, la urbanización, el cambio climático y el uso insostenible. Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos¹, la demanda de agua ha aumentado un 1% anual debido a factores como el desarrollo socioeconómico y los cambios en los hábitos de consumo. La agricultura representa aproximadamente el 70% del consumo de agua dulce, mientras que los sectores industriales ($\approx 20\%$) y doméstico ($\approx 10\%$) también contribuyen significativamente al aumento en el uso de este recurso. A nivel global, casi la mitad de la población enfrenta algún grado de escasez de agua, y una cuarta parte experimenta niveles críticos de estrés hídrico. La contaminación del agua es otro de los problemas críticos, este afecta tanto a la salud pública como a los ecosistemas.

Para una gestión eficaz de los recursos hídricos, es fundamental combinar una gobernanza equitativa con avances tecnológicos, educación y un financiamiento adecuado. Mientras la tecnología, como la inteligencia artificial, ofrece soluciones innovadoras, también presenta desafíos que requieren ser abordados. A su vez, una buena gobernanza asegura una mejor asignación del agua, y el financiamiento es clave para cerrar la brecha entre los problemas hídricos y el conocimiento necesario para lograr un suministro sostenible.

Según la Evaluación de Desempeño Ambiental de Chile² realizada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en 2024, el país está enfrentando una crisis hídrica cada vez más severa, exacerbada por la presión sobre los recursos de agua dulce y la contaminación

¹ Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024, publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

² Las Evaluaciones del Desempeño Ambiental (EDA) de la OCDE analizan el progreso de los países en sus políticas ambientales, basándose en datos empíricos. Fomentan el aprendizaje entre pares, mejoran la rendición de cuentas gubernamentales y ofrecen recomendaciones específicas para optimizar el desempeño ambiental, utilizando datos económicos y ambientales.



proveniente de aguas residuales urbanas e industriales, acuicultura, agricultura y minería. De acuerdo con la actualización del balance hídrico nacional (2015)³, realizado por la Dirección General de Aguas (DGA), los modelos hidrológicos predicen una disminución de caudal de hasta el 30% en algunas cuencas, con reducciones de hasta el 50% para el período 2030-2060. El país está enfrentando una "nueva normalidad" más seca, que afecta incluso a las regiones australes históricamente más lluviosas.

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica prevén déficits significativos hasta 2050, aunque la desalinización y reutilización de aguas residuales podrían ofrecer soluciones. La mejora en la eficiencia en el uso del agua, una asignación robusta, la conservación y el fortalecimiento de la infraestructura hídrica son medidas necesarias para enfrentar la crisis.

A partir de lo expuesto, y en cumplimiento con la Ley Marco de Cambio Climático, es que se ha lanzado el Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos (PACC-RH), el cual se encuentra en fase de elaboración del proyecto definitivo. Este plan, liderado por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA-MOP), tiene como objetivo identificar y abordar los riesgos y oportunidades relacionados con el cambio climático en el sector de los recursos hídricos.

La interacción entre la minería y el agua es particularmente crítica en Chile, donde la escasez hídrica y el cambio climático están moldeando la industria minera. La minería, una industria intensiva en agua, enfrenta desafíos en todas las etapas de operación, desde la extracción y procesamiento de minerales hasta la disposición de residuos, llevando a las empresas a adoptar tecnologías como el reciclaje y la desalinización para mitigar su impacto ambiental y garantizar la sostenibilidad, aun cuando podrían incrementar sus costos de producción.

Riesgos y Desafíos sobre Consumo de Agua en la Minería del Cobre

La minería del cobre en zonas de alta cordillera y desérticas se enfrenta a una serie de riesgos y desafíos interrelacionados que afectan su sostenibilidad y viabilidad a largo plazo, con especial énfasis en el consumo del recurso hídrico.

En la alta cordillera, la escasez de agua es un desafío crítico, exacerbado por la dependencia de fuentes externas y el aumento de costos asociados a la desalinización y el transporte de agua. La posibilidad de inundaciones y deslizamientos de tierra generados por eventos climáticos extremos, impactan significativamente la logística de las operaciones mineras, dificultando la planificación y la ejecución de proyectos. La reducción de la acumulación de nieve, que históricamente ha servido

³ DGA (2017), Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417, MOP, DGA, Realizado por: Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile.



como un reservorio natural, agrava esta problemática, afectando la disponibilidad de agua en los meses críticos para la producción.

En las zonas desérticas, el aumento de temperaturas extremas y la recurrencia de fenómenos climáticos adversos contribuyen a un estrés hídrico adicional, lo que complica aún más la gestión de este recurso esencial. La escasez de agua dulce no solo limita la capacidad de producción, sino que también incrementa la competencia por este recurso entre las empresas mineras y las comunidades locales. Además, la presión regulatoria en torno a la gestión de los recursos hídricos aumenta, impulsada por la creciente expectativa de las comunidades de que las operaciones mineras respeten el medio ambiente y practiquen una gestión responsable.

Las condiciones geográficas de ambas zonas, caracterizadas por la accesibilidad limitada y la necesidad de infraestructura robusta, añaden una capa de complejidad a la operación minera. La construcción y mantenimiento de caminos y otros medios de transporte se vuelven críticos para la logística y, a menudo, requieren inversiones significativas. Asimismo, la remota ubicación de las operaciones mineras puede dificultar la contratación de personal calificado y el suministro de insumos, lo que puede provocar retrasos y costos adicionales.

En este contexto, la industria debe adoptar estrategias adaptativas y sostenibles que no solo mitiguen los riesgos asociados con el agua y el clima, sino que también fortalezcan las relaciones con las comunidades locales. Esto implica implementar tecnologías innovadoras para el uso eficiente del agua, fomentar la recolección de agua de lluvia y promover la reutilización del agua en los procesos mineros. Además, establecer un diálogo constructivo con las partes interesadas, que incluya a comunidades, gobiernos y organizaciones no gubernamentales, será esencial para construir confianza y asegurar el apoyo social a largo plazo.

Finalmente, es fundamental que la industria minera mejore la gestión del agua y se adapte a los nuevos desafíos climáticos para garantizar su continuidad en estos entornos difíciles. Esto no solo ayudará a enfrentar los problemas actuales, sino que también fomentará un desarrollo más sostenible y responsable, beneficiando tanto a las empresas como a las comunidades que dependen de estos recursos.



2. Balance Hídrico de la Minería del Cobre

En esta sección se presenta el balance hídrico en la minería del cobre en Chile para el año 2023. El propósito es ofrecer una visión general y clara de las principales fuentes de extracción de agua, su consumo y los niveles de recirculación en la industria minera.

El balance hídrico, conforme a la metodología del Mineral Council of Australia (MCA): Water Accounting Framework User Guide 2.0 (2022), es una herramienta que permite medir y transparentar de manera sencilla el consumo de agua a nivel agregado de la industria.

Al cuantificar todas las entradas, salidas y cambios en el almacenamiento de agua dentro de este sistema operativo, el balance ofrece una visión clara del flujo y uso del agua en las operaciones. Siguiendo las recomendaciones del MCA, se facilita la estandarización de los informes, lo que a su vez permite comparar las prácticas de la minería chilena respecto a la de otros países. Este enfoque facilita la identificación de oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso del agua, aumentando la reutilización y reduciendo la dependencia de fuentes externas.

La información que recopila Cochilco a partir de la EMPAE es clave para desarrollar este balance hídrico, ya que captura datos sobre las distintas fuentes de agua utilizadas en las operaciones mineras, como el agua continental (superficial y subterránea), el agua de mar, y las aguas adquiridas a terceros. Además, incluye datos sobre el uso operativo del agua en procesos mineros como la concentración de minerales, hidrometalurgia y control de polvo.

Los principales componentes del balance hídrico en la minería del cobre son:

1. **Entradas de agua:** Las entradas incluyen la extracción de agua desde fuentes continentales (aguas superficiales y subterráneas), agua de mar, y agua recirculada o reciclada dentro de la operación.
2. **Salidas de agua:** Las salidas consideran la evaporación, el agua contenida en los productos y relaves, así como las descargas a cuerpos de agua externos.
3. **Almacenamiento de agua:** Este se refiere al agua almacenada en tranques de relaves, plantas de tratamiento y otros depósitos dentro de las instalaciones mineras.

Algunos puntos importantes que considerar en el balance propuesto para el año 2023 son:

- Las entradas de agua al sistema se dividen en tres categorías:
 1. Extracciones de agua para la operación minera.
 2. Aguas recuperadas, ya sean de reúso, reciclaje o recirculadas.



3. Extracciones de otras aguas manejadas (OMW⁴).

- Las aguas recirculadas no se consideran en la metodología propuesta por el ICMM. Sin embargo, debido a la data histórica que maneja COCHILCO, se mantiene la métrica para estas aguas.
- En este informe, para el caso del agua de mar desalinizada, no se considera la captura desde el borde costero y su posterior descarga de salmuera, sino únicamente el agua que efectivamente es impulsada a la operación.
- Otras aguas manejadas/gestionadas son aquellas que no se utilizan en la operación, y que mayormente se destinan a la entrega a comunidades. No se consideran dentro de las "extracciones de agua para la minería del cobre".

Al analizar las 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.

Las **aguas superficiales** para efectos de este análisis corresponde a toda el agua naturalmente expuesta a la atmósfera, como por ejemplo, almacenamientos en embalses y lagos ubicados fuera del sitio operativo, precipitaciones, agua de ríos y arroyos, exceptuando el agua proveniente de océanos, mares y estuarios. El año 2023 se extrajo un total de 5,16 m³/s desde fuentes superficiales, lo que corresponde a un 27,4% del ingreso total de agua.

Las **aguas subterráneas** que se encuentra debajo de la superficie terrestre, llenando poros o grietas entre medios porosos como suelo, roca, carbón o arena, formando a menudo acuíferos. En el año 2023, se extrajeron 5,66 m³/s de fuentes subterráneas, lo que representó el 30% del ingreso total de agua en las operaciones mineras en Chile.

Aguas adquiridas a terceros, corresponde al agua suministrada por una entidad externa a la instalación operativa. En 2023, se adquirieron 1,2 m³/s desde fuentes externas, lo que representó solo el 6,4% del agua extraída para las operaciones. Por otro lado, el **agua de mar**, desalada o sin desalar, tuvo una participación significativa en los ingresos, alcanzando el 36,2% del total, es decir, 6,81 m³/s.

El **consumo de agua** en la minería del cobre se refiere a aquella parte del recurso que no puede ser reutilizada debido a pérdidas inherentes en los procesos operativos. Estas pérdidas incluyen la evaporación, el agua que no es posible recuperar desde los tranques de relave, y el agua contenida en los productos, como los concentrados de minerales. En estos casos, el agua utilizada no puede ser recirculada o reutilizada dentro de la operación, lo que la convierte en un consumo neto. En

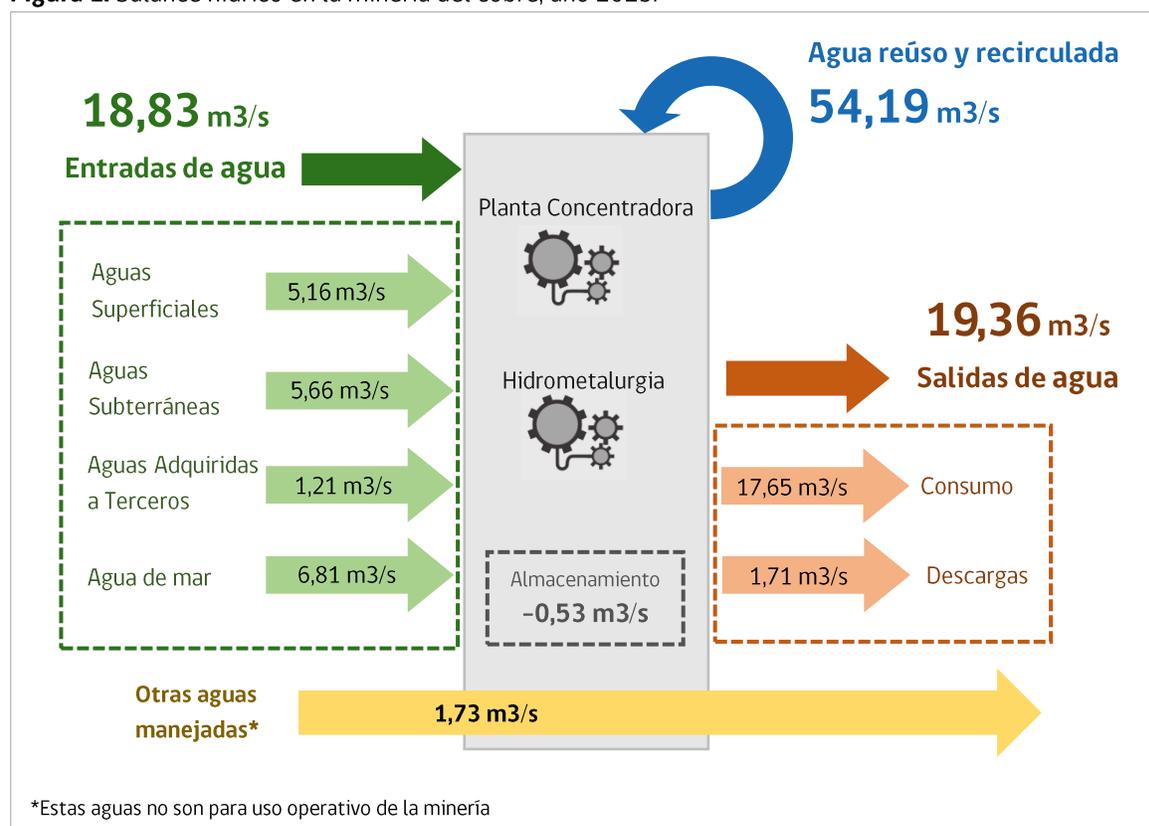
⁴ La abreviación proviene del inglés *Other Managed Water* (OMW) se refiere al agua que es gestionada activamente por la instalación minera, ya sea mediante bombeo, tratamiento o cuando tiene pérdidas significativas por evaporación, y que fluye desde una fuente (OMW - Entradas) hasta un destino (OMW - Salidas) sin ser utilizada en los procesos operacionales. Esta agua puede ser devuelta al medio ambiente, suministrada a terceros o perderse por evaporación.



2023, el consumo total de agua en la minería del cobre fue de 17,64 m³/s, lo que representa el 93,7% del agua ingresada a las faenas, reflejando la relevancia de las pérdidas de agua en el balance hídrico de las operaciones.

Por otro lado, las **descargas** corresponden a la porción del agua que es liberada aguas abajo, ya sea en ríos, mediante reinyección en acuíferos, o entregada a terceras partes. Estas descargas permiten devolver parte del agua al medio ambiente o a otros usuarios, contribuyendo a una gestión hídrica más amplia que incluye tanto el uso operativo como la interacción con ecosistemas y comunidades cercanas.

Figura 1: Balance hídrico en la minería del cobre, año 2023.



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.



3. Uso y Consumo del Agua en la Minería del Cobre

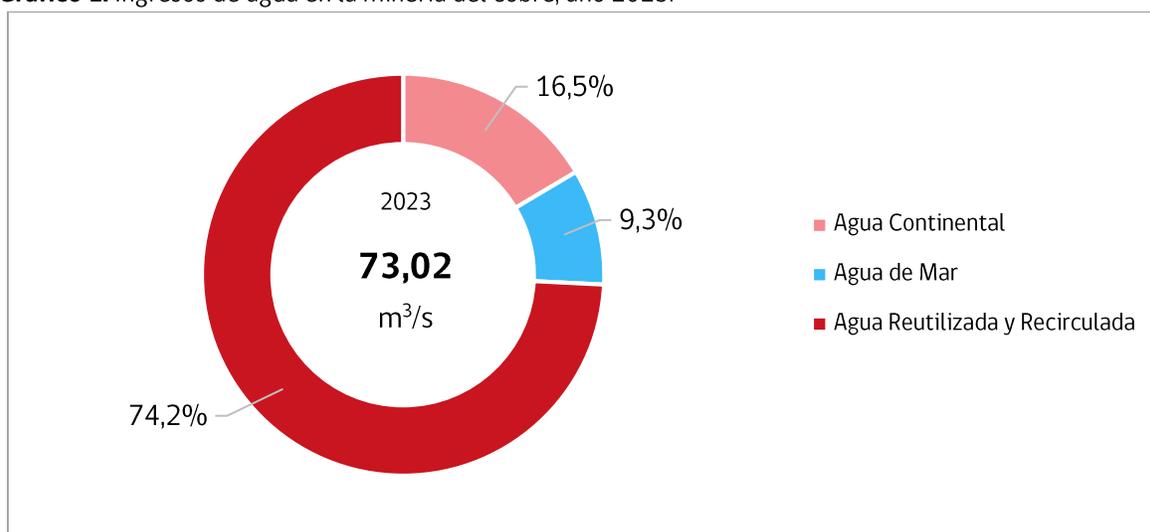
El uso del agua en la minería del cobre es un componente esencial para llevar a cabo una serie de procesos críticos dentro de la faena minera. Desde la extracción de mineral hasta su procesamiento, el agua cumple funciones clave en etapas como la flotación de minerales sulfurados y la lixiviación de minerales oxidados, asegurando la eficiencia en la recuperación del cobre. Dado que la minería es una industria intensiva en el consumo de agua, la gestión eficiente de este recurso se ha vuelto cada vez más relevante, especialmente en Chile, donde la escasez hídrica es un desafío creciente debido a factores como el cambio climático y el aumento de la demanda.

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos a través de la EMPAE para los ingresos y consumo de agua en la minería del cobre en Chile. Se analizan las principales fuentes de extracción de agua utilizadas por la industria, que incluyen aguas continentales, agua de mar y aguas adquiridas de terceros. Además, se detallan los usos específicos del agua en las operaciones mineras, proporcionando una visión comprensiva de cómo este recurso se distribuye y consume dentro de las faenas, abarcando tanto el uso operativo como las estrategias de recirculación y reutilización del agua.

Ingresos de Agua en la Minería del Cobre: Extracción y Recirculación

El agua utilizada en las operaciones mineras para los procesos unitarios de producción proviene de diversas fuentes, incluyendo agua fresca de origen continental o de mar, así como agua de mar desalada o extraída directamente. Los ingresos de agua en la operación incluyen tanto las extracciones desde fuentes primarias como las aguas recuperadas.

Gráfico 1: Ingresos de agua en la minería del cobre, año 2023.

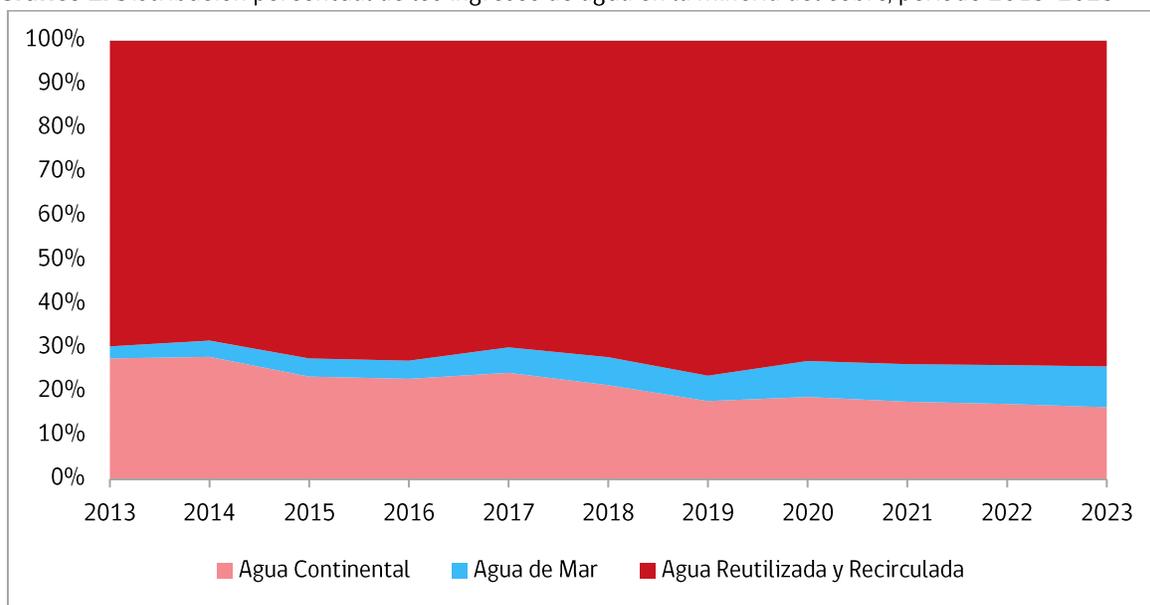


Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.



En el año 2023, los ingresos totales de agua ascendieron a 73,02 m³/s, de los cuales un 74,2% (equivalente a 54,2 m³/s) correspondió a aguas recuperadas, que incluyen agua recirculada, de reúso o reciclada. Por otro lado, el restante 25,8% del agua utilizada provino de fuentes de agua fresca, siendo el 16,5% de agua continental y el 9,3% de agua de mar. Esto muestra una tendencia creciente hacia el uso de agua de mar, tanto desalada como directa, lo que es crucial en un contexto de escasez hídrica en zonas mineras.

Gráfico 2: Distribución porcentual de los ingresos de agua en la minería del cobre, período 2013-2023



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

Se puede observar que, en los últimos 10 años, una parte significativa del volumen de agua ingresada para la minería del cobre proviene de agua recuperada, manteniéndose consistentemente por encima del 70%. Esta tendencia destaca el esfuerzo de la industria por reutilizar y recircular el agua en sus operaciones.

Por otro lado, se evidencia una disminución constante en la participación del agua continental, que representaba un 27,5% en 2013, bajando a 21,5% en 2018, hasta alcanzar un mínimo histórico del 16,5% en 2023.

En contraste, la participación del agua de mar ha mostrado un aumento progresivo, representando un 9,3% del total del agua utilizada en 2023, lo que refleja un cambio hacia fuentes alternativas para enfrentar la escasez de agua continental.



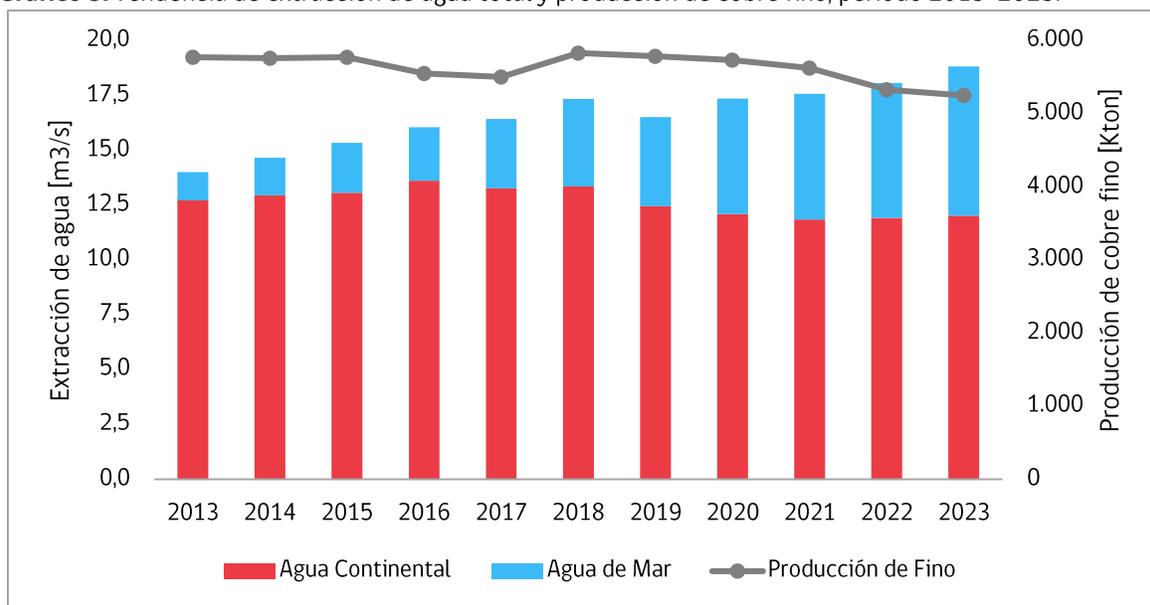
Extracción de Agua en la Minería del Cobre

Extracción de Agua Total

Durante la última década, la industria minera ha incrementado significativamente la extracción de agua de mar en sus operaciones. Este aumento ha sido impulsado, en parte, por la creciente y sostenida escasez de agua en el norte del país, donde esta alternativa ha permitido asegurar la sostenibilidad de las operaciones mineras a largo plazo.

En particular, la extracción de agua de mar —tanto desalada como sin desalar— ha crecido a un ritmo promedio anual del 18,1%, mientras que la extracción de agua continental ha disminuido a una tasa del 0,6% anual en el mismo período. Para el año 2023, las extracciones de agua en total para la minería del cobre en 2023 alcanzaron los 18,83 m³/s, sin considerar el reúso, reciclaje o recirculación de agua dentro de los procesos mineros. De este total, la extracción de agua continental alcanzó los 12,02 m³/s, y la de agua de mar llegó a 6,81 m³/s, estos volúmenes permitieron producir 5.250 mil toneladas de cobre fino, manteniendo los procesos necesarios para dicha producción, así como los servicios auxiliares requeridos.

Gráfico 3: Tendencia de extracción de agua total y producción de cobre fino, período 2013-2023.



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

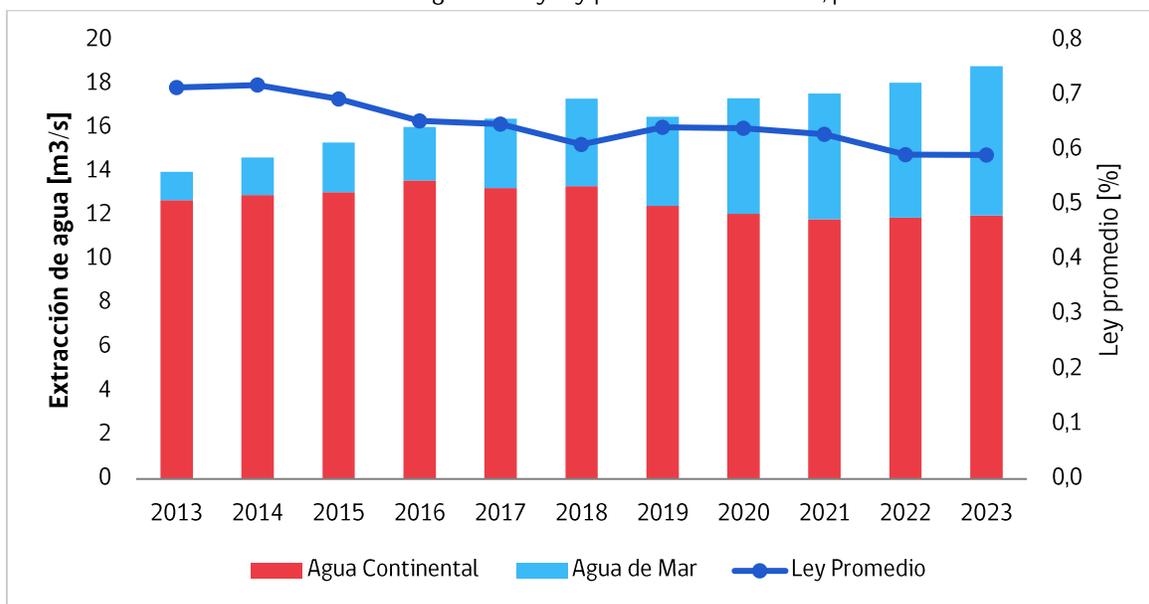
Cabe destacar que la extracción total de agua registra un aumento del 4,2% en comparación con el año 2022. No obstante, la producción de cobre fino muestra una disminución del 1,5% en el mismo periodo. Este resultado se explica, en parte, por un cambio en la matriz de procesamiento del mineral, con un mayor enfoque en el tratamiento de minerales sulfurados y una disminución en el procesamiento de minerales oxidados. Este cambio implica un mayor requerimiento de agua en las plantas de concentración, donde los procesos son intensivos en el uso del recurso hídrico



Por otro lado, la tendencia indica que la ley promedio entre los años 2013-2023 ha disminuido, obteniendo una variación de $-17,2\%$ en este periodo, lo que implica una mayor cantidad de mineral que debe ser procesado y, por ende, mayor consumo de agua para obtener la misma producción.

Por lo tanto, dado que en la minería del cobre en Chile la matriz productiva se inclina más hacia la producción de concentrados y las leyes promedio muestran una tendencia a la disminución, el consumo de agua crece proporcionalmente más.

Gráfico 4: Tendencia de extracción de agua total y ley promedio de mineral, período 2013-2023.



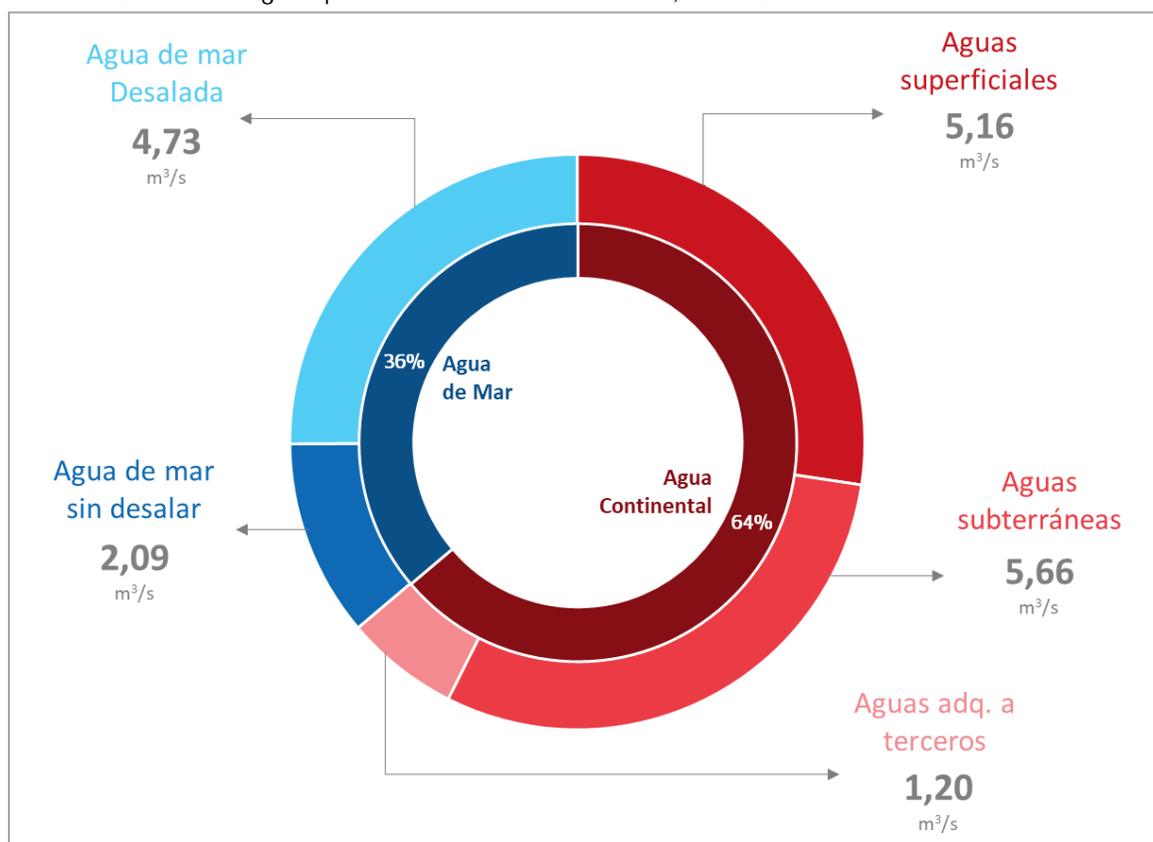
Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

Extracción de Agua Total por Tipo de Fuente

Para los efectos de este estudio, se consideran cuatro fuentes de extracción de agua que abastecen las operaciones mineras: aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas adquiridas a terceros, que en su conjunto se agrupan como aguas continentales, y una cuarta fuente que corresponde al agua de mar, la cual puede ser desalinizada previamente o utilizada directamente en los procesos mineros.

En el Gráfico 5, se encuentran los resultados para las distintas fuentes de abastecimiento de agua. Destaca que, debido a la estrechez hídrica que afecta al país, el uso de agua de mar ha cobrado una importancia creciente. Un número cada vez mayor de faenas mineras ha instalado plantas desalinizadoras para abastecerse de esta fuente, que en muchos casos se ha convertido en la principal fuente de agua para sus operaciones.



Gráfico 5: Extracción según tipo de fuente de abastecimiento, año 2023

Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

En 2023, la extracción de **aguas superficiales** alcanzó los 5,16 m³/s, representando el 33% del total de los ingresos de agua. Sin embargo, su uso ha disminuido significativamente debido a la creciente escasez de este recurso a nivel nacional.

Las **aguas subterráneas** son aquellas que se encuentran almacenadas en acuíferos o depósitos subterráneos y que requieren labores de exploración para su extracción. Para este estudio, también se incluyen las denominadas "aguas del minero" o aguas halladas durante las faenas mineras. En 2023, las aguas subterráneas representaron el 26% del total, con un volumen de 5,66 m³/s.

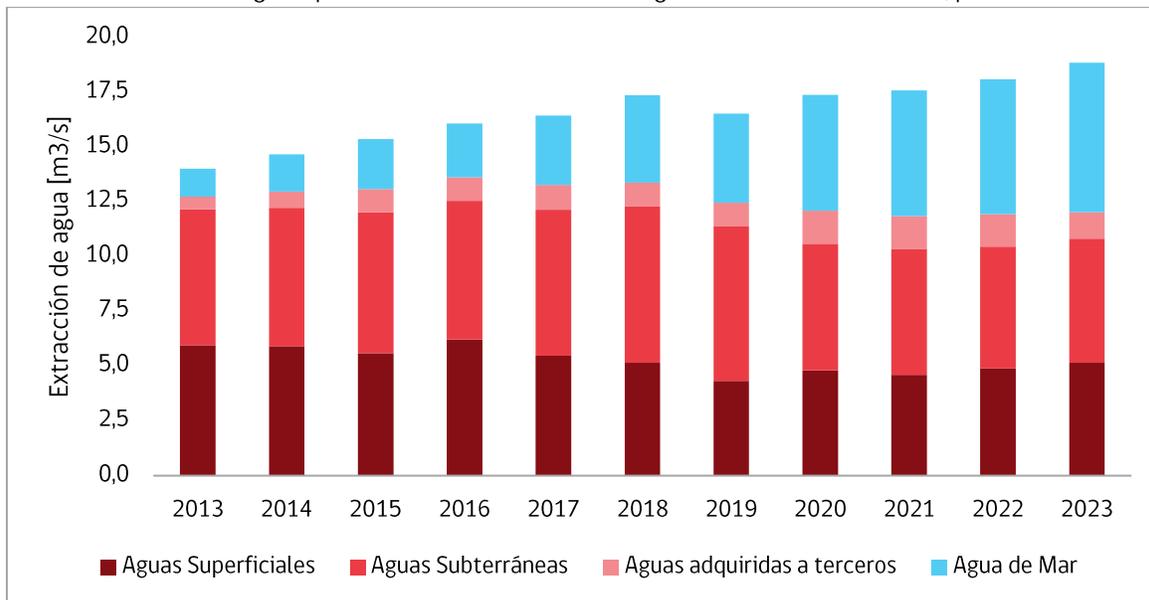
Las **aguas adquiridas a terceros** son aquellas compradas mediante contratos, sin necesidad de poseer derechos sobre ellas. Estas incluyen aguas industriales o de reúso de otros sectores productivos, lo que evita competir con el consumo de agua para la población debido a su menor calidad. También se consideran las compras de agua municipal. En 2023, las aguas adquiridas a terceros representaron el 9% del total, con un volumen de 1,20 m³/s.

El **agua de mar** proviene directamente de los océanos. Para este estudio, se contabiliza el volumen de agua una vez que llega al sitio de operación minera, sin incluir la captación en el mar. Si se compra agua de mar a terceros, esta se clasifica dentro del mismo ítem. En 2023, el uso de agua



desalinizada fue de 4,72 m³/s, mientras que el agua bombeada sin desalar alcanzó los 2,09 m³/s, sumando un total de 6,81 m³/s. Esto representa el 36,2% del total de los ingresos de agua en las operaciones mineras.

Gráfico 6: Tendencia según tipo de fuente de extracción de agua en la minería del cobre, período 2013–2023



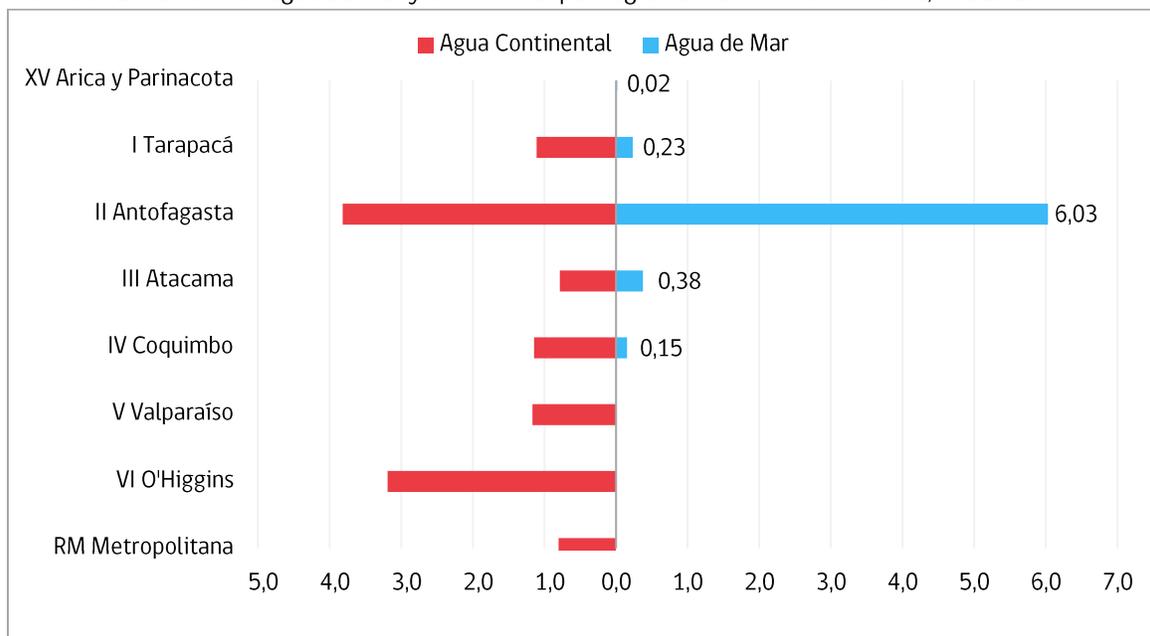
Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

Extracción de Agua Regional

Aunque la minería no es el sector que utiliza el mayor porcentaje de aguas continentales a nivel nacional, esta actividad se concentra principalmente en las zonas norte y centro del país, donde la disponibilidad de agua es limitada.

La minería suele ubicarse aguas arriba en las cuencas, lo que implica una interacción con otros actores y usuarios, principalmente del sector agrícola y para el consumo doméstico, que se sitúan aguas abajo. Por lo tanto, es crucial comprender la distribución regional de los requerimientos hídricos para enfocar los esfuerzos en las áreas con mayor estrés hídrico.



Gráfico 7: Extracción de agua de mar y continental por región en la minería del cobre, año 2023

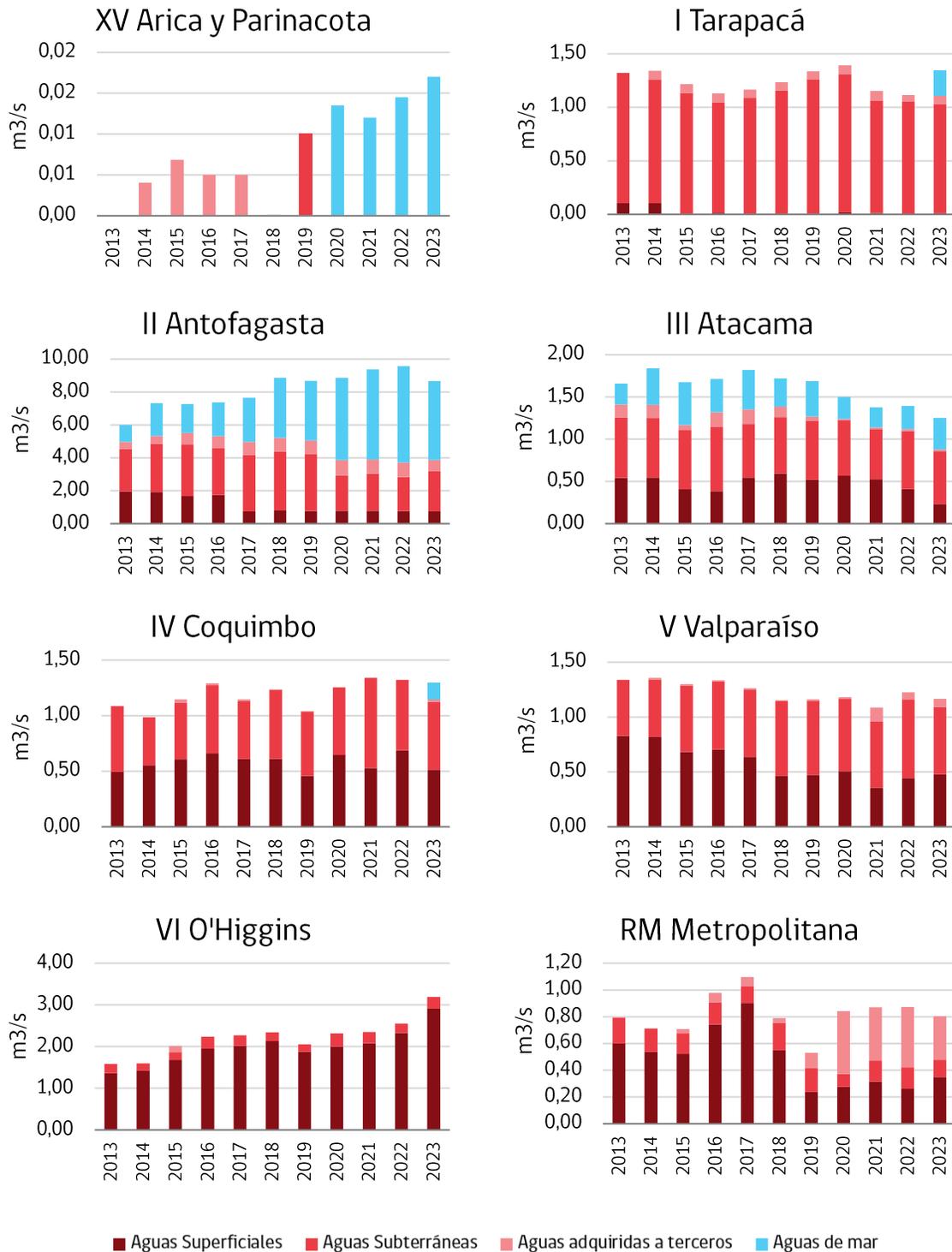
Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

A partir de la información recopilada por la EMPAE, la mayor extracción de agua para la industria minera se registra en la Región de Antofagasta, con 9,85 m³/s, de los cuales el 61% corresponde a agua de mar. Le sigue la Región de O'Higgins, con una extracción de 3,19 m³/s, proviene en su totalidad de aguas continentales.

A continuación, en el Gráfico 8, se presentan los resultados de la extracción de agua según el tipo de fuente para las regiones de Chile durante los últimos años. Destacan las regiones de Tarapacá y Coquimbo, donde ha comenzado el uso de agua de mar como fuente de suministro para las operaciones mineras, con extracciones de 0,235 m³/s y 0,153 m³/s, respectivamente. Por otro lado, es interesante mencionar el caso de la Región de Atacama, que en 2023 alcanzó su cuarto año consecutivo de disminución en el consumo de aguas superficiales, registrando 0,234 m³/s, el valor más bajo de esta fuente en la última década.



Gráfico 8: Extracción de agua regional según fuente de abastecimiento, período 2013–2023.



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.



Recuperación y Recirculación de Agua en la Minería del Cobre

En la gestión de recursos hídricos en las operaciones mineras, los conceptos de recuperación y recirculación de aguas juegan un papel fundamental. Según la guía del ICMM, la recuperación se refiere al proceso de capturar y extraer agua de flujos de residuos, como relaves y aguas residuales, con el objetivo de reducir el consumo de agua fresca y minimizar el impacto ambiental. Este proceso es crucial para gestionar los residuos y controlar la contaminación al permitir el reciclaje de agua en el sitio.

Por otro lado, la recirculación implica la devolución del agua recuperada o tratada a los sistemas operativos o de gestión del agua dentro del sitio minero. Este proceso permite maximizar el uso del agua reciclada, reduciendo así la demanda de agua fresca y el volumen de aguas residuales descargadas al medio ambiente. La recirculación no solo mejora la eficiencia del uso del agua, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad operativa.

Ambos procesos, recuperación y recirculación, son esenciales para una gestión eficiente del agua en la minería. Implementar prácticas efectivas en estos ámbitos ayuda a asegurar un uso más responsable del recurso hídrico, a reducir el impacto ambiental y a promover una operación minera más sostenible. Lograr una alta eficiencia requiere la implementación de tecnologías adecuadas, mantenimiento constante y ajustes en respuesta a las condiciones operativas y ambientales cambiantes.

Tabla 1: Resumen de flujos de agua recuperada y recirculadas en la minería del cobre, año 2023.

	Cantidad [m³/s]
Recirculación en hidrometalurgia (caudal de refinado hacia lixiviación)	18,13
Recirculación desde espesadores	26,28
Recuperación de agua en piscinas de aguas claras	6,12
Otras recuperaciones de agua (drenes, sistemas de remediación, barreras hidráulicas)	1,05
Recuperación de aguas en planta de tratamiento de aguas	0,10
<i>Aguas desde planta procesadora a depósito de relaves</i>	<i>16,40*</i>
Otras aguas que van desde una tarea a otra	2,51
TOTAL AGUAS RECIRCULADAS Y REUTILIZADAS	54,19

*Parámetro ICMM que no se considera en la metodología que utiliza Cochilco, por lo tanto no se suma en el total

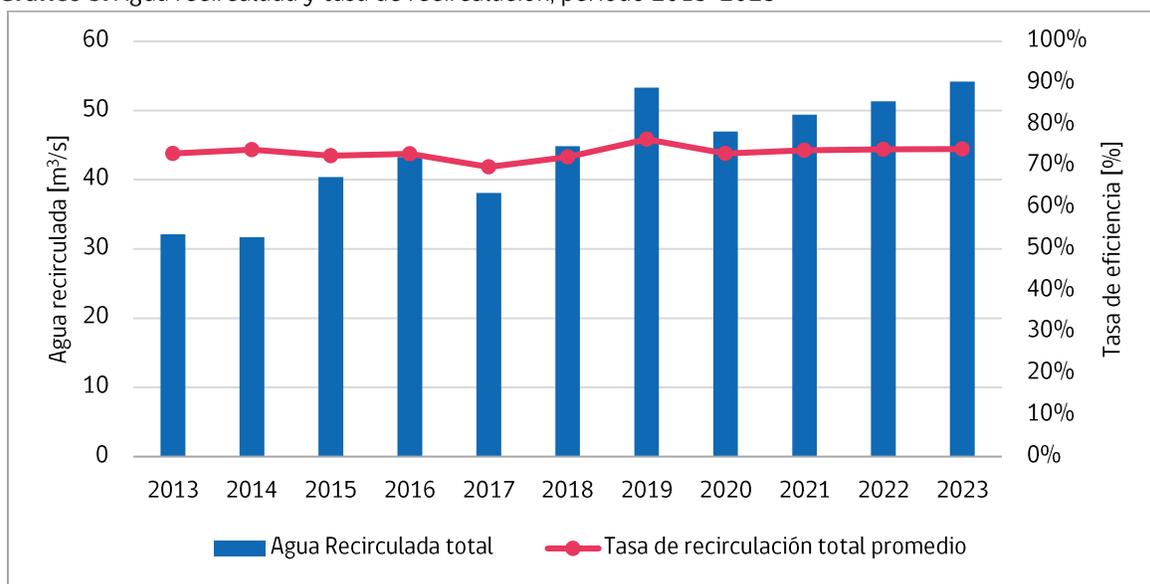
Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

Para el año 2023, el volumen de agua recuperada y recirculada fue de 54,19 m³/s, aumentando un 5% respecto al año 2022. La principal fuente de recirculación de agua en la minería del cobre proviene de los espesadores, que representan el 48,5% del total. Esto destaca la importancia de estos equipos en la optimización del uso del agua.



En 2023, un 11,3% del total de aguas recicladas y reutilizadas en la minería provino de la recuperación de agua en piscinas de aguas claras. Este porcentaje se mantuvo constante en comparación con el año anterior, lo que sugiere una estabilidad en las prácticas de recuperación hídrica en este tipo de instalaciones. De las 52 operaciones mineras que respondieron a la encuesta, un 38,5% informó haber recuperado agua desde piscinas de aguas claras asociadas a los depósitos de relaves. Esta recuperación es crucial, dado que los depósitos de relaves no solo contienen residuos mineros, sino también grandes volúmenes de agua que pueden ser reincorporados al proceso.

Gráfico 9: Agua reciclada y tasa de recirculación, período 2013-2023



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

En 2023, la cantidad total de agua reciclada alcanzó su nivel más alto (54,19 m³/s), lo que representa un incremento significativo en comparación con años anteriores.

A partir del año 2013, la tasa de recirculación total de agua ha mostrado una tendencia relativamente estable, con valores que oscilan entre 69,7% y el 76,4%. En el año 2023, la tasa de recirculación total promedio fue de 74,07%, presentando un leve aumento en comparación con el año 2022 donde fue de 73,97%, como se muestra en el Gráfico 9.

Esto sugiere que, aunque el volumen total de agua reciclada ha aumentado, la eficiencia del sistema en términos de recirculación no ha experimentado mejoras notables en los últimos años.

En resumen, las operaciones mineras han logrado aumentar el volumen de agua reciclada, pero la tasa de recirculación se ha mantenido relativamente constante, lo que indica que no se han producido avances tecnológicos significativos para mejorar la eficiencia en el uso del agua.



Salidas de Agua en la Minería del Cobre

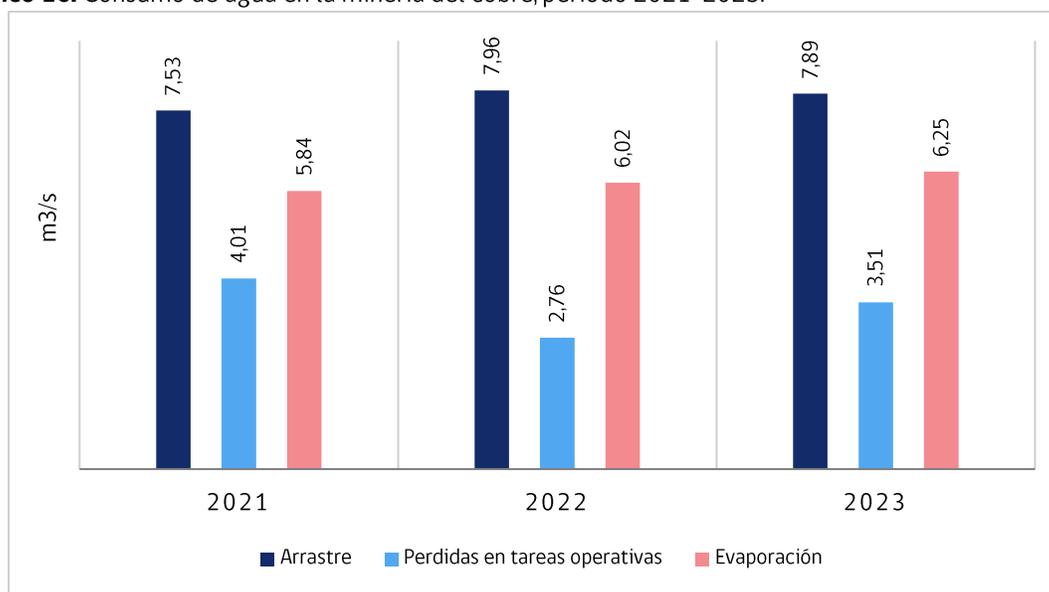
Las salidas operacionales de agua en el balance hídrico se refieren principalmente a dos componentes: el consumo de agua y las descargas de agua operativa. El consumo de agua incluye la cantidad utilizada en los procesos mineros, como la extracción y el procesamiento de minerales, así como el agua empleada para la supresión de polvo y el enfriamiento de equipos. Por otro lado, las descargas de agua operativa comprenden los efluentes y aguas residuales generadas durante las operaciones, que requieren un manejo adecuado para evitar impactos negativos en el medio ambiente. La adecuada gestión de ambos componentes es esencial para garantizar la sostenibilidad y el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

Consumo Operacional Total

Según la guía de buenas prácticas del ICMM, el consumo de agua se refiere a la cantidad de agua utilizada en las operaciones mineras que no se recupera ni se reutiliza. Esto incluye el agua incorporada en los productos finales, la que se pierde por evaporación, o aquella que se consume de manera irreversible durante los procesos de extracción y procesamiento de minerales. Evaluar el consumo de agua es fundamental para medir la eficiencia en el uso del recurso y su impacto ambiental, ayudando a las empresas a identificar áreas de mejora y adoptar prácticas más sostenibles en sus operaciones.

El consumo operacional se divide en tres categorías: Evaporación, pérdidas en tareas operativas y pérdidas por arrastre. Durante los últimos tres años no se han observado variaciones significativas en estos consumos, lo que podría indicar la ausencia de cambios en los procesos operativos de las faenas mineras durante este período.

Gráfico 10: Consumo de agua en la minería del cobre, periodo 2021-2023.



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.



Evaporación

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua se convierte en vapor y se pierde en la atmósfera debido a la exposición al calor. En el contexto minero, la evaporación ocurre en superficies expuestas, tales como lagunas de evaporación, pilas de estériles y tanques de almacenamiento de agua, y representa una pérdida significativa de agua que no puede ser recuperada ni reutilizada en las operaciones.

Para el año 2023, la evaporación alcanzó un total de 6,25 m³/s. 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

En 2023, las pérdidas operativas ascendieron a 3,50 m³/s. La pérdida operacional se refiere a la cantidad de agua que se pierde durante las operaciones mineras debido a fugas, derrames, o errores en el manejo de sistemas de agua. Estas pérdidas no son intencionales y pueden ser el resultado de fallas en la infraestructura, falta de mantenimiento o ineficiencias en el proceso.

Pérdidas por Arrastre

El arrastre es el proceso en el cual el agua transporta sólidos, tales como sedimentos, minerales o residuos, fuera del sistema de procesamiento. En la minería, el arrastre puede ocurrir durante el transporte de minerales, el lavado de equipos o el manejo de estériles, y puede resultar en la pérdida de agua junto con los materiales arrastrados.

Durante el año 2023, las pérdidas por arrastre alcanzaron un total de 7,89 m³/s, siendo las más destacadas del período. Estas pérdidas pueden ocurrir en etapas del proceso, así como también durante la descarga de relaves, el transporte de concentrados y la carga de camiones. Medir y modelar las pérdidas por arrastre puede ser complejo debido a la naturaleza del proceso y las condiciones variables. Sin embargo, se pueden estimar a través de pruebas, como la medición del porcentaje de humedad del producto o la concentración de sólidos en el agua. Reducir estas pérdidas es crucial para mejorar la eficiencia operativa y disminuir el impacto ambiental.

Consumo Operacional por Proceso

Los principales procesos y tareas operacionales dentro de la minería del cobre son:

Agua Mina/Control de Polvo: Se refiere al agua consumida en los procesos de la mina, tanto a cielo abierto como subterránea, principalmente para la supresión de polvo durante el transporte del material hasta el chancado primario.



Hidrometalurgia: Incluye los procesos de lixiviación en pilas, extracción por solventes y electro obtención para la producción de cátodos. El mayor consumo de agua proviene de la evaporación en las pilas de lixiviación, donde se aplica una solución de agua y ácido sulfúrico en la superficie de las pilas (PLS).

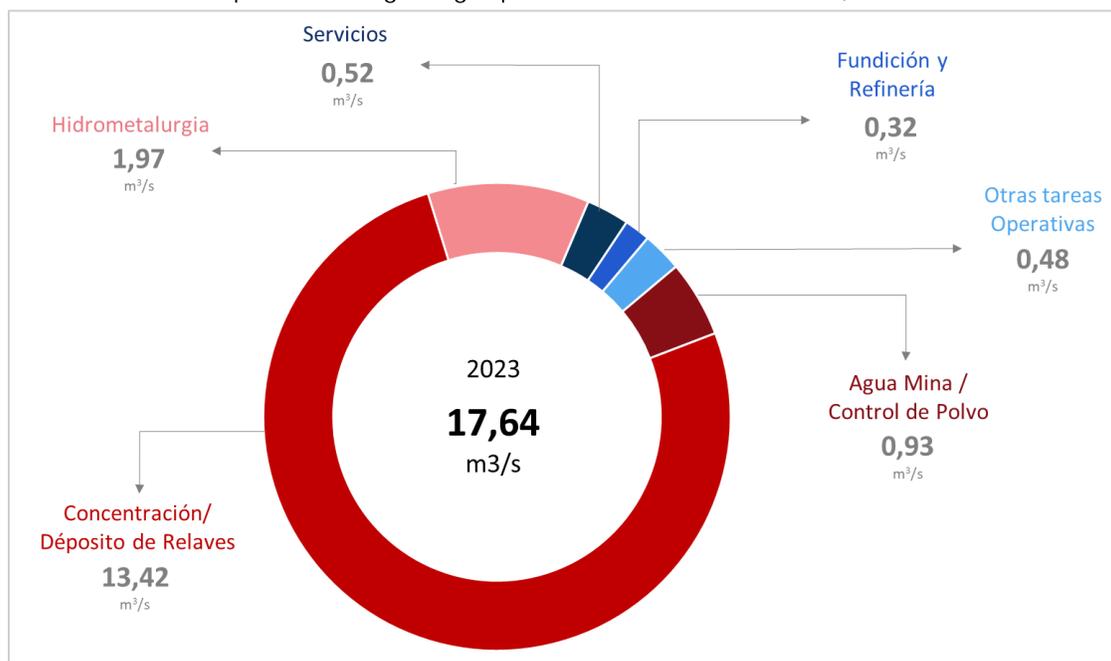
Concentración: Incluye el procesamiento de minerales, que representa el mayor consumo de agua en relación con los volúmenes totales. Esta etapa abarca la conminución del mineral (molienda secundaria), seguida de la flotación, clasificación y espesamiento. Las aguas residuales generadas en estos procesos pueden recircularse o no al sistema, provenientes de los depósitos de relaves, así como de los procesos de espesamiento y filtrado, entre otros.

Depósito de Relaves: Se considera una actividad independiente de la planta concentradora y se refiere al manejo del agua en el almacenamiento de residuos del procesamiento. Aunque el principal objetivo de un tranque de relaves es almacenar dichos residuos, en ciertas situaciones también puede funcionar como depósito temporal de agua.

Fundición y Refinería: El concentrado seco pasa por un proceso de pirometalurgia para producir placas gruesas en forma de ánodos. Estos ánodos pueden comercializarse directamente o ser enviados al proceso de refinación, que se realiza en celdas electrolíticas con una solución de ácido sulfúrico. Al aplicar una corriente eléctrica, se obtienen cátodos de alta pureza.

Servicios: Agrupa aquellas actividades como el consumo para bebida, lavado, riego y baños en los campamentos, además de otros consumos menores.

Gráfico 11: Consumo operativo del agua según proceso en la minería del cobre, año 2023.



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.



En 2023, el mayor consumo de agua en la minería del cobre provino del proceso de **concentración** de minerales sulfurados para la obtención de concentrados, que representó el 76,03% del total de agua utilizada. Le siguió el consumo en el proceso de hidrometalurgia para la producción de cátodos a partir de minerales oxidados, con un 11,18%. En tercer lugar, el agua utilizada en la mina, principalmente para el control de polvo, representó el 5,3%, mientras que los servicios, que incluyen campamentos, riego y otros usos menores, sumaron un 2,97%. Finalmente, la fundición y refinería representaron el 1,79% de las extracciones de agua.

Descargas Operacionales

Las descargas operacionales corresponden al agua utilizada en las operaciones mineras y plantas de procesamiento, como agua de enfriamiento, producción y limpieza, entre otros usos. En 2023, estas descargas alcanzaron un total de 2,32 m³/s, lo que representa un aumento de más del 70% respecto al año anterior, cuando las descargas operacionales fueron de 1,34 m³/s. La gestión y el monitoreo adecuados de estas descargas son fundamentales para minimizar su impacto ambiental y cumplir con las normativas vigentes. Esto implica la implementación de sistemas de tratamiento de agua, entre otras medidas preventivas.

Otras Aguas Manejadas (OMW)

Según la guía del ICMM, el término "Otras Aguas Manejadas" se refiere a las aguas que, aunque no se utilizan directamente en las operaciones de la mina o la planta de procesamiento, siguen siendo gestionadas en el sitio. En 2023, las "Otras Aguas Manejadas" totalizaron 1,73 m³/s, en comparación con 1,08 m³/s en 2022.

De estas aguas, el 46% se destinó a la entrega a terceros, especialmente a comunidades; el 47% se descargó al medio ambiente; y el 7% se utilizó para otros consumos no operacionales. La gestión adecuada de estas aguas es crucial para la sostenibilidad y para cumplir con las obligaciones hacia las comunidades aledañas.



4. Indicador de Gestión de Agua en la Minería del Cobre

Make Up

El concepto de *make up*, en este informe se refiere al agua fresca adicional que se necesita introducir sistema operativo minero para compensar las pérdidas de agua debidas a la evaporación, fugas, uso consuntivo, o cualquier otra causa que impida la recirculación completa del agua utilizada. En la minería, este concepto es particularmente importante porque parte del agua utilizada en los procesos operacionales no puede ser reciclada o recirculada, lo que obliga a reponer el sistema con agua nueva, ya sea de fuentes subterráneas, superficiales, o de mar. Además, es un indicador clave de eficiencia en la gestión hídrica, ya que cuanto menor sea la cantidad de agua nueva requerida, mayor será la capacidad de reutilización y recirculación dentro del proceso operativo, reduciendo la dependencia de fuentes externas.

A partir de 2018, Cochilco comenzó a recopilar información sobre las entradas de agua, ya sea continental o de mar, necesarias para procesar una tonelada de mineral. Este análisis considera la cantidad de agua que ingresa al proceso, excluyendo las aguas recirculadas o recuperadas. Los procesos unitarios monitoreados incluyen la planta concentradora y la hidrometalurgia de minerales de cobre oxidados.

En 2023, el *makeup* de agua utilizada para el procesamiento de minerales sulfurados en plantas concentradoras alcanzó los 0,60 m³/ton de mineral, lo que representa un incremento marginal con respecto a 2022, cuando se registró un valor de 0,59 m³/ton de mineral. Este incremento en el valor de 2023 refuerza la tendencia general de aumento en el consumo de agua para el procesamiento de minerales sulfurados, aunque no alcanza los niveles de 2021, cuando se observó un pico de 0,68 m³/ton de mineral. Este valor excepcional en 2021 se debió, en parte, a un cambio metodológico en la encuesta EMPAE, lo que afectó la recopilación de datos y, por lo tanto, el cálculo de este indicador.

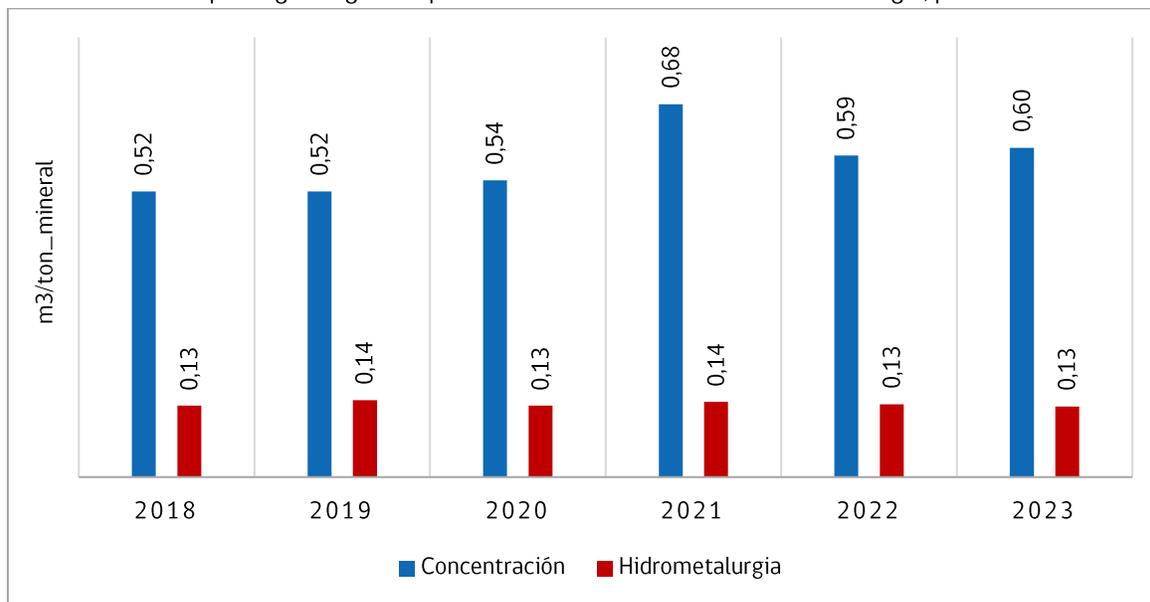
Por otro lado, el *makeup* para el proceso de hidrometalurgia en 2023 se mantuvo en 0,13 m³/ton de mineral, el mismo valor registrado en 2022. Este indicador ha mostrado una notable consistencia desde 2018, fluctuando ligeramente entre 0,13 y 0,14 m³/ton de mineral.

Se observa una tendencia marginal pero constante de aumento en el consumo de agua en las plantas concentradoras, atribuible principalmente a la disminución de las leyes del mineral procesado. Aunque las empresas han implementado mejoras tecnológicas y de gestión, aún no se ha alcanzado un "quiebre" tecnológico que permita reducir de manera significativa el consumo de agua en el proceso de extracción del cobre. Sin embargo, lo que sí se evidencia es una mayor utilización de fuentes de agua de mar, tanto desalada como directa, lo que representa una



alternativa clave para la industria. Esta transición hacia el uso de agua de mar ha permitido reducir el consumo de agua continental, contribuyendo a una gestión más sostenible del recurso hídrico.

Gráfico 12: Make up de agua según los procesos de concentración e hidrometalurgia, período 2018-2023.



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

En ese sentido es importante avanzar hacia un uso eficiente de agua, independiente de donde provenga, impulsando tecnología de optimización y reúso, para disminuir las entradas de agua en el sistema. El objetivo debe ir en la búsqueda de mejorar el rendimiento posible de cada gota que entra al sistema, sin importar si es agua continental o de mar.

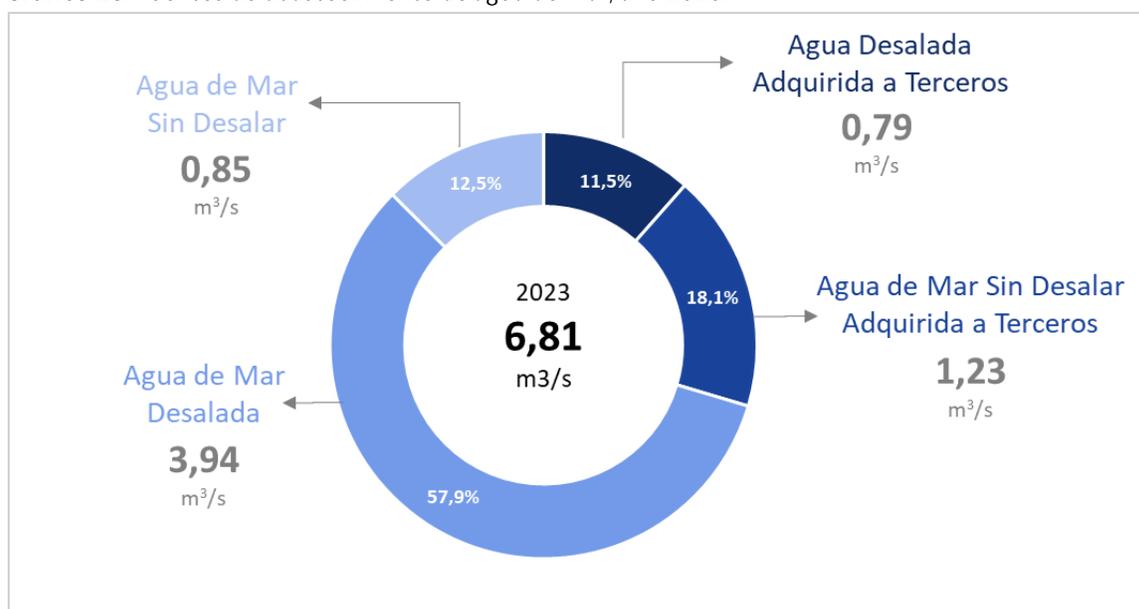


5. Agua de Mar y Desalinización en la Minería del Cobre

La minería del cobre en Chile, particularmente en las regiones del norte, se desarrolla en zonas áridas donde la disponibilidad de agua continental es limitada. Esta situación ha generado una creciente presión sobre las fuentes hídricas, tanto superficiales como subterráneas, lo que ha impulsado al sector a buscar alternativas sostenibles para el suministro de agua. En este contexto, el uso de agua de mar ha emergido como una solución clave para asegurar la continuidad de las operaciones mineras sin afectar los recursos hídricos destinados a otros sectores, como la agricultura y el consumo humano. Así, la desalinización de agua de mar ha permitido que la minería siga operando de manera competitiva, reduciendo la dependencia de aguas continentales en zonas de alto estrés hídrico, contribuyendo a la sostenibilidad del sector.

Para el año 2023, de los 6,81 m³/s de agua de mar utilizados en la minería del cobre, un 69% (4,73 m³/s) fue agua previamente desalinizada, mientras el 31% (2,09 m³/s) fue agua de mar utilizada directamente en los procesos.

Gráfico 13: Fuentes de abastecimiento de agua de mar, año 2023.



Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

El 29,6% % del agua de mar que ingresa a las operaciones corresponde a agua adquirida a un tercero. Esta práctica es especialmente visible en las operaciones ubicadas en la Región de Antofagasta, donde la situación hídrica es compleja debido a los bajos niveles de precipitaciones y la limitada disponibilidad de agua superficial. Ante este escenario, muchas de estas operaciones han optado por tecnologías de desalinización y el uso de agua de mar, lo que ha aliviado en parte la presión sobre los recursos hídricos continentales y ha reducido la dependencia de los acuíferos locales.



Un ejemplo de lo anterior es la Empresa Minera Sierra Gorda SCM, donde el 100% de su operación funciona con agua de mar sin desalar, proveniente del sistema de enfriamiento de una planta termoeléctrica en Mejillones⁵.

Por otro lado, las empresas mineras están desarrollando sus propios proyectos de desalación. Destaca la entrada en operación del proyecto Quebrada Blanca Hipógeno de Teck, en la región de Tarapacá. Esta planta desalinizadora de gran escala tiene una capacidad de 850 l/s, con posibilidad de expansión a 1.200 l/s. Su diseño reduce el riesgo de escasez de recursos hídricos de fuentes continentales, proporcionando mayor certidumbre y sostenibilidad al proyecto a largo plazo. Asimismo, en la región de Atacama, el proyecto "Desarrollo Mantoverde" de Capstone ha incrementado su capacidad de desalinización en 260 l/s, asegurando un suministro de agua más sostenible. En la región de Coquimbo, la planta desalinizadora Puerto Punta Chungo de Antofagasta Minerals, en su operación Los Pelambres, comenzó a funcionar durante el primer semestre de 2024 con una capacidad de 400 l/s. Estos avances reflejan una clara tendencia de la industria minera hacia el uso de fuentes alternativas de agua para enfrentar la escasez hídrica en las regiones mineras. (Ver Tabla 2 para más información sobre los proyectos de desalación e impulsión de agua en la minería del cobre en Chile).

⁵ Información publicada en *Reporte de Sustentabilidad 2023* de Empresa Minera Sierra Gorda SCM.



Tabla 2: Catastro de plantas desalinizadoras de agua de mar operando o en puesta en marcha.

Puesta en marcha	Propietario	Mina/proyecto	Región	Etapas de desarrollo	Capacidad de desalación (lts/s)	Capacidad uso agua de mar (lts/s)	Longitud tuberías de transporte de agua (km)
ND	Enami	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Antofagasta	Operando	-	15	0,5
1994	Antofagasta Minerals	Michilla	Antofagasta	Detenida	-	-	-
1996	Las Cenizas	Las Cenizas Taltal	Antofagasta	Operando	9	12	7
2005	Mantos De La Luna	Mantos de Luna	Antofagasta	Operando	5	20	8
2006	BHP Billiton	Escondida - Planta Coloso	Antofagasta	Operando	525	-	180
2010	Antofagasta Minerals	Distrito Centinela (Esperanza + El Tesoro)	Antofagasta	Operando	50	1500	145
2013	Lundin Mining	Candelaria	Atacama	Operando	500	-	110
2014	Mantos Copper	Mantoverde	Atacama	Operando	120	-	42
2014	KGHM Int.	Sierra Gorda	Antofagasta	Operando	-	1315	142
2015	CAP Minería	CAP Minería y otros clientes	Atacama	Operando	600	-	120
2015	Pampa Camarones	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	Detenida	-	25	12
2017	Antofagasta Minerals	Antucoya	Antofagasta	Operando	30	280	145
2018	BHP Billiton	Escondida Water Supply Extension (WSE)	Antofagasta	Operando	2500	-	180
2019	Haldeman	Continuidad operacional faena minera Michilla	Antofagasta	Reapertura planta existente	15	70	15
2021	BHP Billiton	Spence Growth Option (SGO)	Antofagasta	Operando	1000	-	154
2023	Teck	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Operando	850 (potencial de 1.200)	-	165
2023	Capstone	Desarrollo Mantoverde	Atacama	Operando	agrega 260	-	42
2024	Antofagasta Minerals	Planta desalinizadora Puerto Punta Chungo (Los Pelambres)	Coquimbo	Puesta en Marcha	400	-	62

Fuente: Cochilco (2024).

6. Comentarios Finales

La gestión del agua en la minería del cobre en Chile ha avanzado significativamente, impulsada por la necesidad de adaptarse a la creciente escasez hídrica. La incorporación de nuevas fuentes, como el agua de mar y las plantas desalinizadoras, ha aliviado la presión sobre las fuentes continentales, destacando el compromiso del sector con la sostenibilidad.

La industria minera enfrenta importantes riesgos en el uso del agua, especialmente en zonas de alta cordillera y desérticas, donde la escasez de agua es un desafío crítico debido a las bajas precipitaciones y fuentes limitadas. La dependencia de tecnologías, como la desalinización y la recuperación de agua, se ve agravada por el cambio climático, que incrementa la competencia por este recurso entre empresas y comunidades locales. Además, las diferencias en la gestión hídrica entre regiones, como el uso de agua de mar en Antofagasta y la dependencia de aguas continentales en O'Higgins, destacan la necesidad de soluciones adaptadas a cada contexto. Es fundamental trabajar de manera colaborativa a nivel local, implementando la gestión por cuenca y planes estratégicos que generen sinergias económicas, ambientales y sociales. Establecer un diálogo temprano con las partes interesadas y comprender las prácticas locales sobre el agua es crucial para evitar conflictos y fomentar un entorno de cooperación, asegurando así un desarrollo sostenible y responsable en la industria minera.

A pesar de estos avances, la eficiencia en el uso del agua sigue siendo un desafío clave para la industria. Aunque se han alcanzado altos niveles de recirculación, con tasas que superan el 70%, la necesidad de innovar en tecnologías que optimicen aún más el consumo y mejoren la eficiencia en todas las etapas del proceso minero sigue siendo urgente. La ligera tendencia al alza en el make up de agua en plantas concentradoras, vinculada a la disminución en la ley del mineral, evidencia los retos operacionales que aún persisten.

La minería chilena ha logrado consolidar su liderazgo en la gestión responsable de los recursos hídricos, gracias a la incorporación de fuentes alternativas como el agua desalinizada y la captación directa de agua de mar. No obstante, para avanzar hacia una mayor sostenibilidad, es fundamental seguir invirtiendo en investigación y desarrollo de tecnologías que permitan reducir el consumo de agua y mejorar su recirculación, especialmente frente a los desafíos que plantea el cambio climático.

A pesar de los avances en la gestión sostenible del agua, aún existen retos que requerirán de innovación tecnológica para asegurar que el equilibrio entre el desarrollo productivo y una gestión hídrica eficiente y responsable garantice la viabilidad a largo plazo de las operaciones mineras, sin comprometer los recursos naturales ni a las comunidades que dependen de ellos. En este contexto, es crucial que las autoridades impulsen políticas públicas que promuevan la adopción de tecnologías avanzadas, fomenten la investigación y desarrollo de soluciones innovadoras, y



faciliten el acceso a financiamiento para proyectos de optimización hídrica. La creación de marcos regulatorios que incentivan la colaboración público-privada y la gestión integral del agua a nivel de cuencas será clave para asegurar una distribución equitativa y sostenible de este recurso, beneficiando tanto a las comunidades como al desarrollo económico.



Anexos

Anexo A: Metodología del Estudio

La metodología empleada en este estudio consistió en el procesamiento, clasificación y análisis de la información proporcionada en la Encuesta de Producción, Agua y Energía (EMPAE), realizada en operaciones mineras de cobre. Para el año 2023, un total de 51 operaciones mineras, incluidas minas, fundiciones y refinerías, participaron en la encuesta, representando más del 99% de la producción nacional de cobre de ese año.

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 m³/s o lts/s, donde 1.000 lt equivalen a 1 m³.

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, algunos más intensivos que otros, pero que, en última instancia, requieren del recurso hídrico para llevar a cabo sus tareas.

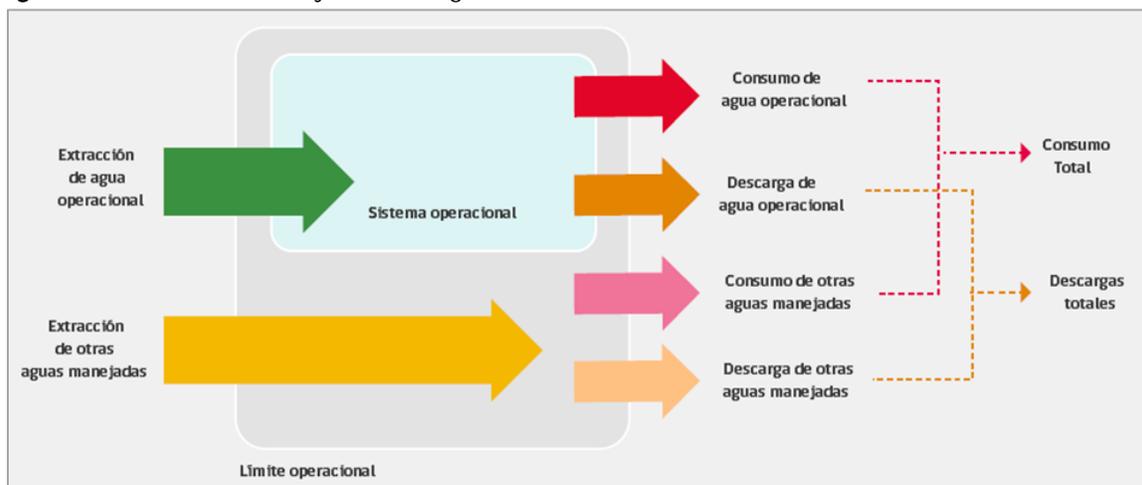
Es importante destacar que, desde 2022, se implementó un cambio en la metodología de reportabilidad de la información sobre el consumo del agua, alineando conceptos y formatos con la guía propuesta por el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) en 2021.

El marco de gestión del agua desarrollado por el ICMM adopta un enfoque centrado en las zonas de captación para la gestión del recurso hídrico. La actualización de la guía de buenas prácticas presenta una serie de orientaciones para la entrega de información, tanto interna como externa, en los reportes sobre el uso del agua.

El modelo de entrada-salida, basado en el Water Accounting Framework (WAF) elaborado en la Universidad de Queensland, Australia, proporciona un enfoque coherente para cuantificar los flujos de agua entrantes y salientes según sus fuentes. Por otra parte, el modelo operacional ofrece orientación para los procesos de agua dentro de las operaciones.



Figura 2: Modelo de entrada y salida de agua.



Fuente: ICMM (2021), Water reporting, good practice guide 2nd edition.

De acuerdo con la guía de ICMM propuesta en el año 2021, se describen las principales definiciones de los parámetros:

Métricas que describen las entradas y salidas de agua asociadas con el sitio

- **Extracción de agua para operación:** agua que ingresa al sistema de agua operativo utilizado para satisfacer la demanda de agua operativa.
- **Extracción de otras aguas manejadas:** Other Management Water (OMW), agua manejada activamente por la operación pero que no tiene como objeto suplir las demandas de agua operacional.
- **Descargas:** toda el agua que se libera al medio ambiente acuático (agua superficial, agua subterránea o agua de mar) o a un tercero (incluidas el agua operativa y OMW).
- **Consumos:** toda el agua que se elimina por evaporación, arrastre (en producto o desecho) u otras pérdidas, y que no se devuelve a las aguas superficiales, subterráneas, marinas o a un tercero.

Métricas que describen los flujos de agua internos al sitio

- **Reúso/Reciclaje:** agua que ha sido utilizada en una tarea operativa y es recuperado y utilizado nuevamente en una tarea operativa, ya sea sin tratamiento (reutilización) o con tratamiento (reciclado).
- **Uso operativo del agua:** el volumen de agua utilizado en las tareas operativas.
- **Almacenamiento (delta):** El cambio neto (positivo o negativo) en el volumen de agua en almacenamiento (agua operativa y OMW) durante el período del informe.

Si bien la metodología propuesta en la guía tiene mayor profundidad, al incluir conceptos como la calidad del agua, riesgos y descripción del lugar donde se encuentra la operación, la nueva



metodología utilizada en la encuesta anual de Cochilco busca alinear los términos y conceptos para lograr un sistema equivalente y comparable. Asimismo, dado que la Encuesta de Cochilco recoge datos históricos, se mantienen ciertos indicadores.

Anexo B: Tablas consumo de agua para el periodo 2013-2023

Tabla 3: Ingresos de agua en la minería del cobre [m³/s], periodo 2013-2023.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agua Continental	12,7	13,0	13,1	13,6	13,3	13,4	12,5	12,1	11,8	11,9	12,0
Agua de Mar	1,3	1,7	2,3	2,4	3,2	4,0	4,1	5,3	5,7	6,2	6,8
Agua Reutilizada y Recirculada	32,1	31,7	40,4	43,3	38,1	44,9	53,3	47,0	49,4	51,3	54,2
Aguas Totales	46,1	46,4	55,7	59,3	54,5	62,2	69,8	64,3	67,0	69,4	73,0

Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

Tabla 4: Tendencia según tipo de fuente de abastecimiento de agua [m³/s], periodo 2013-2023.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Aguas Superficiales	5,94	5,91	5,58	6,21	5,46	5,15	4,33	4,79	4,60	4,90	5,16
Aguas Subterráneas	6,20	6,30	6,43	6,33	6,67	7,12	7,05	5,78	5,74	5,54	5,66
Aguas adquiridas a terceros	0,58	0,74	1,06	1,08	1,13	1,08	1,07	1,51	1,50	1,48	1,20
Total Agua Continental	12,72	12,95	13,07	13,61	13,26	13,36	12,45	12,09	11,84	11,92	12,02
Agua desalada	0,58	0,89	0,97	0,83	1,53	2,12	2,22	3,32	3,57	3,97	4,73
Agua sin desalar	0,71	0,82	1,31	1,61	1,63	1,87	1,84	1,96	2,17	2,18	2,08
Total Agua de Mar	1,29	1,71	2,28	2,44	3,16	3,99	4,06	5,28	5,74	6,15	6,81

Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

Tabla 5: Recirculación total de agua [m³/s] y tasa de recirculación [%] en la operación, periodo 2013-2023.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agua Recirculada Total	32,14	31,71	40,38	43,27	38,07	44,87	53,33	46,98	49,39	51,34	54,19
Tasa de Recirculación	73,00	73,91	72,46	72,93	69,75	72,11	76,40	73,01	73,76	73,97	74,07

Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.



Tabla 6: Tendencia regional según tipo de fuente de abastecimiento de agua [m³/s], periodo 2013–2023.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
XV Arica y Parinacota											
Aguas Continentales	ND	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Aguas de mar	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
TOTAL	ND	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
I Tarapacá											
Aguas Continentales	1,32	1,34	1,22	1,13	1,17	1,24	1,34	1,39	1,15	1,11	1,11
Aguas de mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
TOTAL	1,32	1,34	1,22	1,13	1,17	1,24	1,34	2,79	1,15	1,11	1,34
II Antofagasta											
Aguas Continentales	4,97	5,33	5,51	5,31	4,97	5,21	5,06	3,87	3,90	3,71	3,82
Aguas de mar	1,04	1,99	1,77	2,05	2,69	3,66	3,62	5,00	5,48	5,86	6,03
TOTAL	6,01	7,32	7,28	7,37	7,66	8,87	8,68	12,73	9,38	9,57	9,85
III Atacama											
Aguas Continentales	1,41	1,41	1,17	1,32	1,35	1,38	1,27	1,24	1,14	1,12	0,78
Aguas de mar	0,25	0,43	0,51	0,39	0,47	0,34	0,42	0,26	0,24	0,27	0,38
TOTAL	1,66	1,84	1,68	1,71	1,82	1,72	1,69	2,74	1,38	1,40	1,16
IV Coquimbo											
Aguas Continentales	1,08	0,99	1,15	1,29	1,15	1,24	1,04	1,26	1,34	1,32	1,15
Aguas de mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
TOTAL	1,08	0,99	1,15	1,29	1,15	1,24	1,04	2,51	1,34	1,32	1,30
V Valparaíso											
Aguas Continentales	1,34	1,36	1,30	1,34	1,26	1,15	1,16	1,18	1,09	1,23	1,17
Aguas de mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	1,34	1,36	1,30	1,34	1,26	1,15	1,16	2,36	0,00	1,23	1,17
VI O'Higgins											
Aguas Continentales	1,58	1,60	2,01	2,24	2,27	2,34	2,06	2,31	2,35	2,55	3,19
Aguas de mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	1,58	1,60	2,01	2,24	2,27	2,34	2,05	4,63	2,35	2,55	3,19
RM Metropolitana											
Aguas Continentales	0,79	0,71	0,71	0,98	1,10	0,79	0,53	0,84	0,87	0,87	0,80
Aguas de mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	0,79	0,71	0,71	0,98	1,10	0,79	0,53	1,68	0,87	0,87	0,80

Fuente: Cochilco (2024), en base datos de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.



Anexo C: Operaciones Mineras Encuestadas

Tabla 7: Listado de operaciones mineras que respondieron la EMPAE

Operación Minera	Región	Tamaño
Altonorte	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Amalia Catemu	V Valparaíso	Mediana Minería Privada
Andacollo	IV Coquimbo	Gran Minería Privada
Andina	V Valparaíso	Gran Minería Estatal
Antucoya	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Atacama Kozan	III Atacama	Mediana Minería Privada
Candelaria	III Atacama	Gran Minería Privada
Carmen Bajo	III Atacama	Mediana Minería Privada
Carola	III Atacama	Mediana Minería Privada
Caserones	III Atacama	Gran Minería Privada
Cenizas Cabildo	V Valparaíso	Mediana Minería Privada
Cenizas Taltal	II Antofagasta	Mediana Minería Privada
Centinela	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Cerro Colorado	I Tarapacá	Gran Minería Privada
Cerro Negro	V Valparaíso	Mediana Minería Privada
Chagres	V Valparaíso	Gran Minería Privada
Chuquicamata	II Antofagasta	Gran Minería Estatal
Collahuasi	I Tarapacá	Gran Minería Privada
El Abra	II Antofagasta	Gran Minería Privada
El Soldado	V Valparaíso	Gran Minería Privada
El Teniente	VI O´ Higgins	Gran Minería Estatal
Escondida	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Franke	II Antofagasta	Mediana Minería Privada
Gabriela Mistral	II Antofagasta	Gran Minería Estatal
La Patagua	V Valparaíso	Mediana Minería Privada
Lomas Bayas	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Los Bronces	RM Metropolitana	Gran Minería Privada
Los Pelambres	IV Coquimbo	Gran Minería Privada
Mantos Blancos	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Mantos de la Luna	II Antofagasta	Mediana Minería Privada
Mantoverde	III Atacama	Gran Minería Privada
Michilla	II Antofagasta	Mediana Minería Privada
Ministro Hales	II Antofagasta	Gran Minería Estatal
Ojos del Salado	III Atacama	Mediana Minería Privada
Pampa Camarones	XV Arica y Parinacota	Mediana Minería Privada
Planta Delta	IV Coquimbo	Mediana Minería Estatal
Planta Matta	III Atacama	Mediana Minería Estatal
Planta Paipote	III Atacama	Mediana Minería Estatal
Planta Salado	III Atacama	Mediana Minería Estatal
Planta Taltal	II Antofagasta	Mediana Minería Estatal
Planta Vallenar	III Atacama	Mediana Minería Estatal
Quebrada Blanca	I Tarapacá	Gran Minería Privada
Radomiro Tomic	II Antofagasta	Gran Minería Estatal
Salvador	III Atacama	Gran Minería Estatal
San Andrés	III Atacama	Mediana Minería Privada
San Gerónimo	IV Coquimbo	Mediana Minería Privada
Sierra Gorda	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Spence	II Antofagasta	Gran Minería Privada
Tres Valles	IV Coquimbo	Mediana Minería Privada
Valle Central	VI O´ Higgins	Mediana Minería Privada
Ventanas	V Valparaíso	Gran Minería Estatal
Zaldivar	II Antofagasta	Gran Minería Privada

Fuente: Cochilco (2024).



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

Sergio Verdugo Montenegro

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Claudia Arancibia Calderón

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Patricia Gamboa

Directora de Estudios y Políticas Públicas

Octubre/2024

Copyright by Cochilco, todos los derechos reservados.

Se autoriza la reproducción total o parcial de este Informe, siempre que la fuente "Comisión Chilena del Cobre" y/o "Cochilco" sea citada, salvo que se indique lo contrario.

