



Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

DEPP 16/2015

Resumen ejecutivo

Dada la importancia estratégica del agua en los procesos productivos de la minería del cobre, COCHILCO realiza anualmente una estimación del consumo esperado de agua en las operaciones y proyectos que se desarrollan en el país. Tal estimación se realiza mediante en una metodología que se basa en tres pilares: 1. los consumos unitarios de cada faena en cada proceso; 2. Los perfiles de producción máxima determinados a través del catastro de inversiones mineras; y 3. La probabilidad de materialización de tal cartera en virtud de los antecedentes históricos. La combinación de los antecedentes previamente mencionados a través de una simulación estocástica permite obtener el valor esperado del consumo de agua.

Para el consumo de agua fresca, los resultados indican que hacia el 2026 se daría una tendencia decreciente de un 1,9% anual desde lo estimado al 2015, mientras que para el caso del agua de mar esta sería creciente a una tasa de 14,1% anual como indica la Figura 1. Al año 2026, el consumo de agua fresca alcanzaría 10,8 m³/s (siendo un 87% proveniente de iniciativas base o probable), lo cual casi se iguala al uso de agua de mar de 10,7 m³/s (con un 60% explicado por proyectos en condición base o probable).

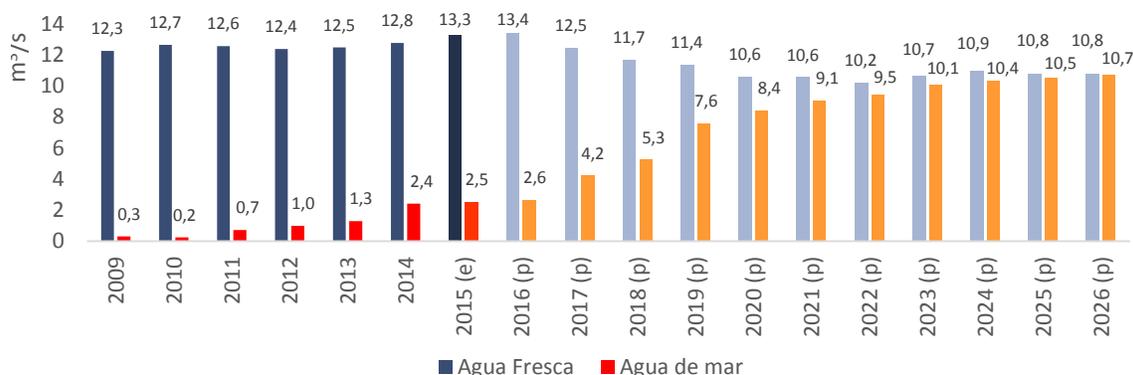


Figura 1 Evolución del consumo esperado de agua fresca y agua de mar en la minería del cobre entre los años 2009 y 2026. Fuente: elaboración propia.

A nivel regional, Antofagasta sería la región con un mayor crecimiento en caudal de consumo de agua de mar, reduciendo consistentemente su participación de consumo nacional de agua fresca desde un 43% el 2015 a un 21% el 2026.

En términos de costos, un análisis conceptual indica que la utilización de agua de mar desalada en operaciones que consumen 200 l/s significaría un costo de 16 cUS\$/lb, con un rango entre 7 a 27 cUS\$/lb en un escenario de precio de la energía de 100 US\$/MWh.



Abstract

Given the strategic relevance of water as an input in copper mining processes, the Chilean Copper Commission (COCHILCO) annually forecasts the expected water consumption in projects and operations throughout the country. Methodology is supported by three main pillars: 1. unit consumption of every mining operation by any process; 2. maximum production profile obtained from COCHILCO’s mining investment cadaster; and 3. occurrence probability of those projects included in the mining cadaster, according to historical data. Combination of previously mentioned background with stochastic simulation let to obtain the expected value of water consumption.

In the case of fresh water consumption, results indicate a declining rate of 1.9% year on year from value estimated in 2015 until 2026, while seawater consumption would rise at a rate of 14.1% year on year in the same period as shown in Figure 1. Expected value of fresh water consumption descend to 10.8 m³/s (87% from Base and Probable initiatives) in 2026, while seawater reach 10.7 m³/s (60% from Base and Probable projects).

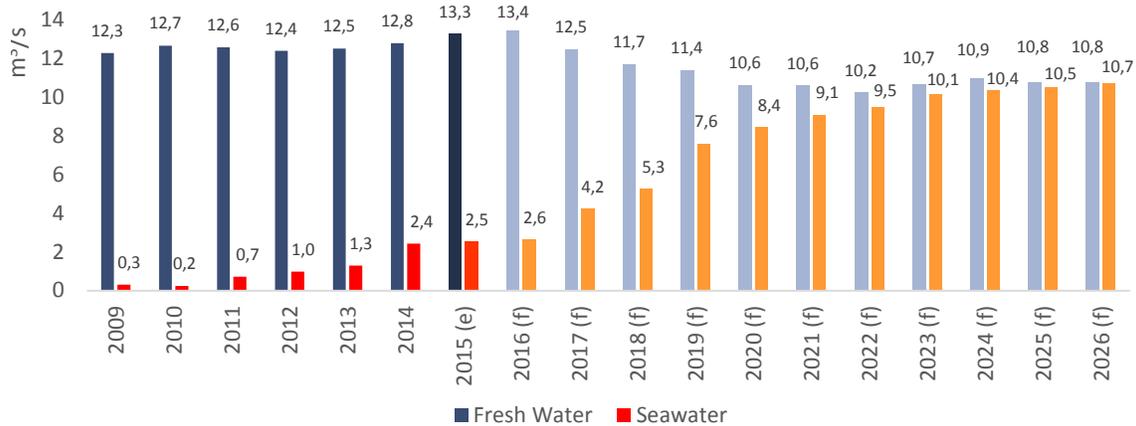


Figure 1 Fresh water and seawater expected consumption in copper mining between 2009 and 2026. Source: own elaboration.

At a regional level, Antofagasta would expect the major growth in seawater flow consumption, reducing their participation in national fresh water use from 43% in 2015 to 21% in 2026.

In terms of costs, a conceptual analysis shows that the use of desalinated seawater in operations consuming over 200 l/s would represent an average of 16 cUS\$/lb, ranging from 7 to 27 cUS\$/lb, considering an energy Price of 100 US\$/MWh.



Contenido

1	Introducción.....	1
2	Metodología.....	2
2.1	Proyección de producción máxima.....	2
2.2	Indicadores de consumo unitario	3
2.3	Probabilidad de materialización	4
2.4	Proyección de valor esperado.....	5
3	Consumo de agua fresca.....	6
3.1	Consumo de agua fresca por región	6
3.2	Consumo de agua fresca por tipo de proceso	8
3.3	Consumo de agua fresca por condición de proyectos.....	9
3.4	Consumo de agua fresca por etapa de desarrollo y permisos ambientales.....	10
4	Consumo de agua de mar	12
4.1	Consumo de agua de mar por región	12
4.2	Consumo de agua de mar por tipo de proceso	14
4.3	Consumo de agua de mar por condición de proyectos	14
4.4	Consumo de agua de mar por etapa de desarrollo y permisos ambientales.....	15
4.5	Evolución de capacidad instalada y costo en uso de agua de mar.....	16
5	Comentarios finales	21
6	Anexos.....	23
6.1	Consumo de agua fresca y de mar por región	23
6.2	Consumo de agua fresca y de mar por tipo de procesamiento.....	23
6.3	Consumo de agua fresca y de mar por condición de proyectos.....	24
6.4	Consumo de agua fresca y de mar por etapa de desarrollo y permisos ambientales.....	24



1 Introducción

El agua en la industria minera del cobre es considerado uno de los insumos estratégicos para la minería del cobre, dadas las crecientes restricciones que tiene su uso en un ambiente de menor disponibilidad y por lo tanto mayor costo de obtención.

Dada la importancia de este recurso en la producción minera en Chile, COCHILCO elabora anualmente la proyección del consumo esperado de agua en la minería del cobre, que recoge la información de los estudios sobre proyectos de inversión en la minería chilena y los datos recopilados de las distintas faenas a través de la Encuesta de Producción, Agua y Energía.

El objetivo de este estudio es estimar la situación futura de la minería, las tendencias estratégicas de largo plazo en lo referente a uso de agua y la demanda necesaria para satisfacer las distintas operaciones del país.

Para ello, se ha limitado el alcance de la proyección al consumo de agua de la minería del cobre existente entre las regiones de mayor presencia minera, es decir, entre Arica y Parinacota y O'Higgins, hasta el año 2026. En este caso, el detalle de los resultados se entrega a nivel regional, por proceso de tratamiento del mineral y condición de los distintos proyectos u operaciones.



2 Metodología

La proyección del valor esperado del consumo de agua conlleva la ejecución de cuatro etapas. En primer lugar se dispone de la información entregada por la cartera de proyectos de inversión del año en curso, que permite realizar la estimación de producción máxima. En segundo lugar se tienen los datos sobre consumo unitario de agua de las distintas faenas de la minería del cobre del país, lo cual indica su comportamiento en lo relativo al uso del recurso. A continuación, la información histórica sobre la materialización de los proyectos de inversión entrega la probabilidad de ocurrencia de producción prevista en las fechas presentadas. Finalmente, los datos anteriores crean tres distintos escenarios de consumo de agua (mínimo, más probable y máximo) que es modelado a través de funciones de probabilidad y generando escenarios de manera aleatoria.

2.1 Proyección de producción máxima

De manera complementaria a la elaboración del catastro de inversión en minería (COCHILCO, 2015), se realiza la estimación de la producción esperada en la minería del cobre, tanto para las operaciones de concentración de mineral sulfurado como aquellas lixiviación de óxidos de cobre. En estos casos se estima un determinado *ramp-up* productivo, junto a la capacidad de tratamiento de las plantas para estimar un escenario máximo que podrían alcanzar las operaciones del país.

Este perfil de producción máxima diferencia según cada faena y contiene la condición de materialización de los distintos proyectos, tal como indica la Figura 2-1:



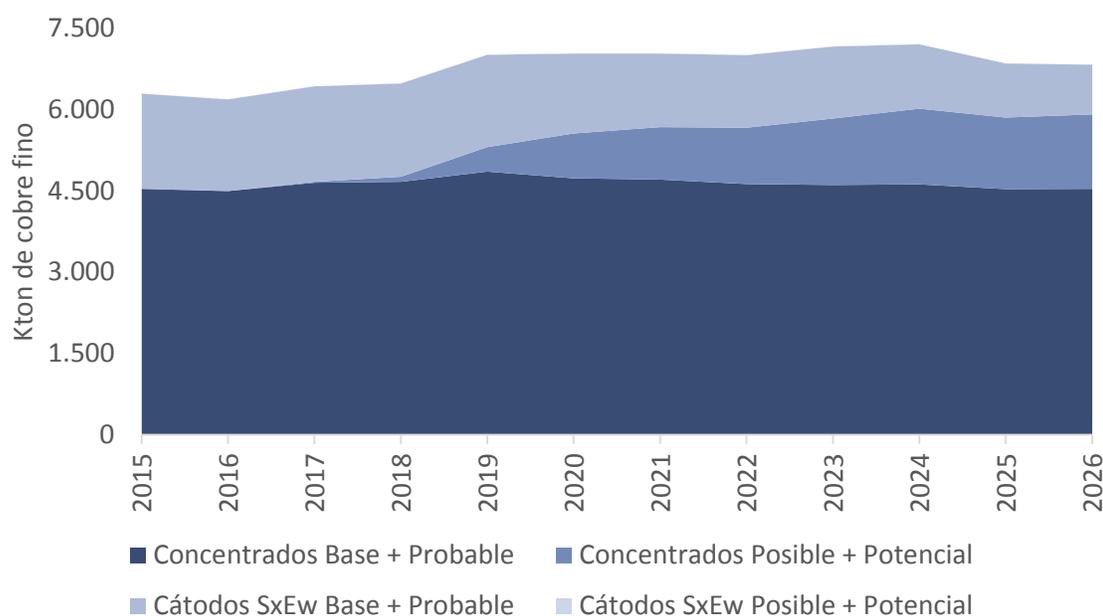
Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

Figura 2-1 Proyección de producción máxima de cobre en Chile al 2026. Fuente: COCHILCO.

La figura anterior entrega la información sobre el mineral tratado en el caso de las plantas concentradoras y de producción de cátodos electro-obtenidos, que son necesarios para proyectar el consumo total de agua fresca.

2.2 Indicadores de consumo unitario

En base a la información anual entregada por las distintas faenas productoras de cobre, se obtienen los consumos unitarios para las dos vías principales de procesamiento de mineral, a partir de las toneladas procesadas en el caso de las concentradoras y de cátodos electro-obtenidos en el caso de las plantas de hidrometalurgia. Los valores nacionales se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2-1 Tasas unitarias de consumo de agua fresca por proceso en el período 2009 - 2014.

Fuente: COCHILCO.

Proceso	Unidad	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Concentración	m ³ /ton	0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53
Hidrometalurgia	m ³ /TMF	27,6	29,3	29,4	23,2	29,9	29,8

Para otros consumos se consideró una tasa unitaria según la cantidad de cobre fino producido por la operación.

En los casos que no se contó con información para las futuras operaciones, se estimaron sus tasas unitarias de consumo basadas en faenas en producción de características



técnicas comparables. Para las operaciones que utilizan agua de mar se utilizaron tasas referenciales de operaciones en funcionamiento o de similares características con consumo de agua fresca.

2.3 Probabilidad de materialización

Dada la incertidumbre intrínseca de las operaciones mineras y de sus proyectos de inversión, se estima la probabilidad de que éstos alcancen su capacidad nominal esperada en las fechas tentativas.

Dado lo anterior, se construyen tres distintos escenarios, uno mínimo, en el cual se proponen condiciones para que se posterguen las decisiones de inversión de los proyectos. Otro escenario más probable, construido en base a la información histórica que cuenta COCHILCO, que reflejan la producción real versus la estimada desde el año 2005 y finalmente, un escenario máximo, en el cual las faenas y los proyectos alcanzan sus producciones estimadas en los plazos declarados.

La información para los escenarios de producción mínima, más probable y máximo se presentan a continuación:

Tabla 2-2 Vectores de probabilidad para escenarios de producción mínima, más probable y máxima. Fuente: elaboración propia.

Escenario Mínimo												
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Potencial Prefactibilidad	13%	22%	29%	38%	43%	46%	52%	59%	61%	66%	69%	75%
Potencial Factibilidad	29%	38%	43%	46%	52%	59%	61%	66%	69%	75%	78%	78%
Posible Factibilidad	46%	52%	59%	61%	66%	69%	75%	78%	78%	80%	81%	81%
Probable	66%	69%	75%	78%	78%	80%	81%	81%	82%	82%	83%	83%
Base	75%	78%	78%	80%	81%	81%	82%	82%	83%	83%	84%	84%

Escenario Más Probable												
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Potencial Prefactibilidad	16%	28%	38%	50%	61%	68%	77%	80%	84%	88%	88%	90%
Potencial Factibilidad	38%	50%	61%	68%	77%	80%	84%	88%	88%	90%	91%	91%
Posible Factibilidad	61%	68%	77%	80%	84%	88%	88%	90%	91%	91%	92%	92%
Probable	80%	84%	88%	88%	90%	91%	91%	92%	92%	93%	93%	94%
Base	84%	88%	88%	90%	91%	91%	92%	92%	93%	93%	94%	94%



Escenario Máximo												
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Potencial Prefactibilidad	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Potencial Factibilidad	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Posible Factibilidad	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Probable	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Base	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Para el caso del escenario más probable la información lleva de manera implícita que un proyecto potencial en prefactibilidad tarda 2 años en pasar a factibilidad, luego 2 años a la categoría posible, luego otros 3 años hasta probable y un año de probable a base.

Para el caso del escenario mínimo, se consideró un mayor retraso en las decisiones de inversión para los proyectos en las categorías posibles y potencial, lo que si bien no elimina los proyectos, los deja con una menor probabilidad de materialización.

2.4 Proyección de valor esperado

Finalmente, construyendo los tres distintos escenarios se realiza la simulación considerando una función de probabilidad beta para operación en cada año, llegando a un valor esperado como el promedio de las realizaciones. En la Figura 2-2 se ejemplifican los valores mínimos y máximos estimados, junto el consumo más probable para obtener el consumo esperado de cada faena.

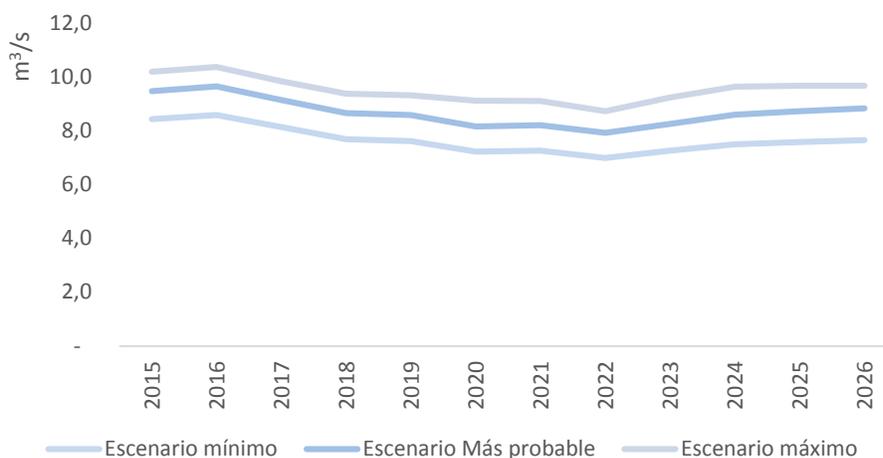


Figura 2-2 Estimación del valor esperado del consumo de agua realizado para cada operación y tipo de procesamiento. Fuente: elaboración propia.



3 Consumo de agua fresca

En este capítulo se entregan los resultados de las simulaciones para el consumo esperado de agua fresca, considerando distintas características de los proyectos y operaciones. De manera general, la estimación de consumo total de agua fresca esperada hasta el 2026 alcanza los 10,8 m³/s, lo que representa una caída promedio de un 1,9% anual desde el 2015. La Figura 3-1 muestra la evolución del consumo de agua fresca y la proyección esperada en virtud de los proyectos catastrados por COCHILCO. Vale la pena destacar que uno de los principales efectos en la disminución del consumo de agua fresca proviene de la puesta en marcha de la ampliación de la planta desaladora Coloso, que estima un inicio de operación el año 2017 con una capacidad de 2.500 l/s.



Figura 3-1 Evolución del consumo total de agua fresca en la minería del Cobre en Chile entre los años 2009 y 2026. Fuente: elaboración propia.

3.1 Consumo de agua fresca por región

El análisis regional del consumo de agua fresca indica una disminución de la participación de la región de Antofagasta y un leve crecimiento de Atacama, manteniendo el consumo relativamente constante en las otras regiones:



Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

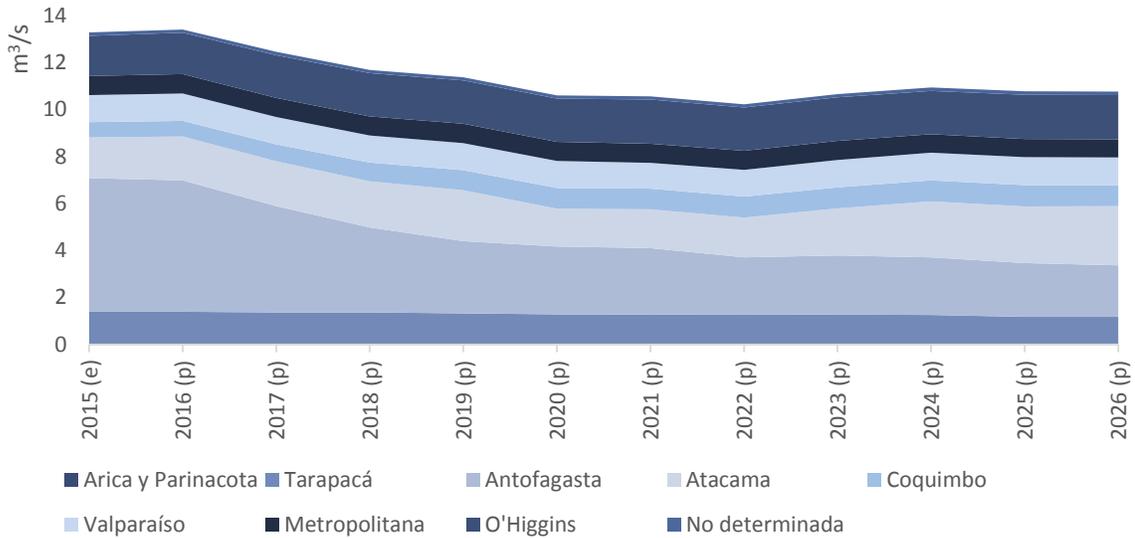


Figura 3-2 Consumo de agua fresca esperado por región en el período 2015-2026. Fuente: elaboración propia.

La mayor cantidad de proyectos que utilizarían agua de mar en sus procesos en la región de Antofagasta y la necesidad de contar con mayor cantidad de agua para el procesamiento de mineral primario de cobre explica el cambio de tendencia esperado. Dado lo anterior, la participación de la región de Antofagasta se reduciría desde un 43%



estimado al año 2015, hasta un 21% al año 2026, siendo superada por la región de Atacama con un 23% del consumo esperado de agua fresca para tal año.

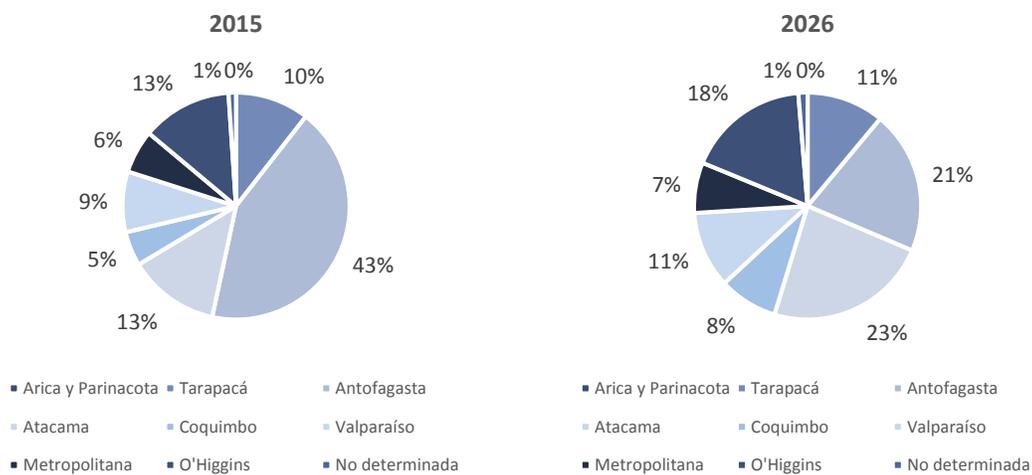


Figura 3-3 Cambio en la participación del consumo de agua fresca esperado en la minería del cobre por región entre el 2015 (izquierda) y 2026 (derecha). Fuente: elaboración propia.

3.2 Consumo de agua fresca por tipo de proceso

Un cambio estructural considerable se espera para el consumo de agua en la minería del cobre, donde por el efecto natural del agotamiento de los minerales oxidados de cobre se iría reduciendo el consumo de agua para tales operaciones en los próximos años. Tal proyección de consumo esperado se muestra en la Figura 3-4.



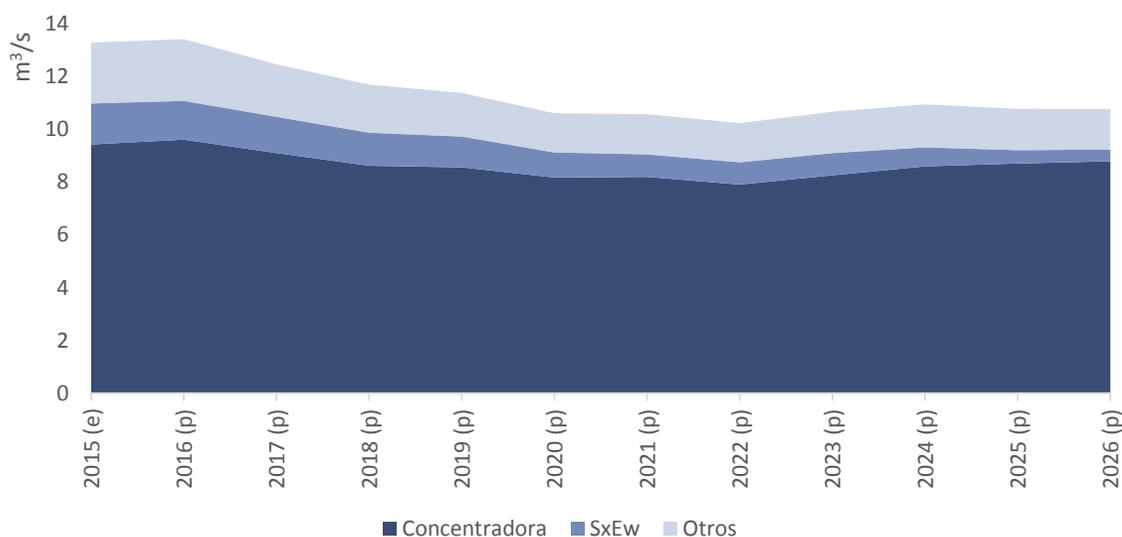
Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

Figura 3-4 Consumo esperado de agua fresca en los distintos procesos de la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.

El proceso de obtención de cátodos por la vía hidrometalurgia (SxEw) pasaría de representar un 12% del consumo de agua fresca en el 2015 hasta un 4% en el 2026, reflejando una caída de un 10,7% anual en el consumo. Análogamente, los procesos de concentración de sulfuros de cobre pasarían de ocupar un 71% del agua fresca a un 82% del total.

3.3 Consumo de agua fresca por condición de proyectos

Según lo catastrado en la cartera de inversiones mineras de COCHILCO, se definen 4 principales estados de los proyectos de inversión, reflejando su capacidad de materialización o avance. Éstas corresponden a los proyectos en condición Base, Probable, Posible y Potencial, manteniendo un nivel de certeza decreciente sobre su aporte productivo respectivamente. El consumo de agua fresca esperado indica que la mayoría de los nuevos proyectos a realizarse en el futuro no estarían incorporando este tipo de insumo en sus procesos, por lo cual la mayor parte del consumo se mantendría en aquellas operaciones catalogadas como Base, como se indica en la Figura 3-5.

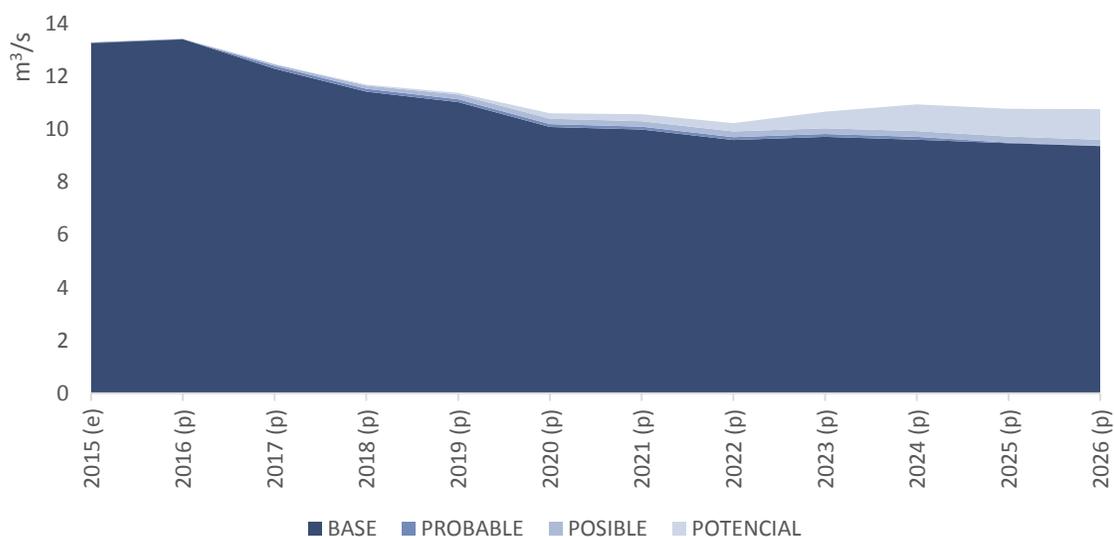
Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

Figura 3-5 Consumo esperado de agua fresca según condición de proyectos y operaciones de la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.

Al año 2026, se espera que un 87% del consumo de agua fresca provenga de proyectos u operaciones en condición Base, mientras que un 11% del consumo se vendría de proyectos en una condición Potencial, es decir, con una menor probabilidad de materialización en las fechas estimadas.

3.4 Consumo de agua fresca por etapa de desarrollo y permisos ambientales

En términos de etapa de desarrollo de la faena minera, al igual que el punto anterior la mayor parte del consumo proviene de aquellas con menor grado de incertidumbre en su implementación, como lo son aquellas en Operación y en Construcción. Los proyectos en Operación pasarían de representar un 94% del consumo esperado el 2015 a un 67% en el 2026, descenso explicado por el impacto de los proyectos en construcción que pasarían de un 5% al 2015 a un 20% al 2026. Los proyectos en menores etapas de ingeniería (pre-factibilidad) tendrían un consumo esperado de un 11% al 2026, tal como se indica en la Figura 3-6.



Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

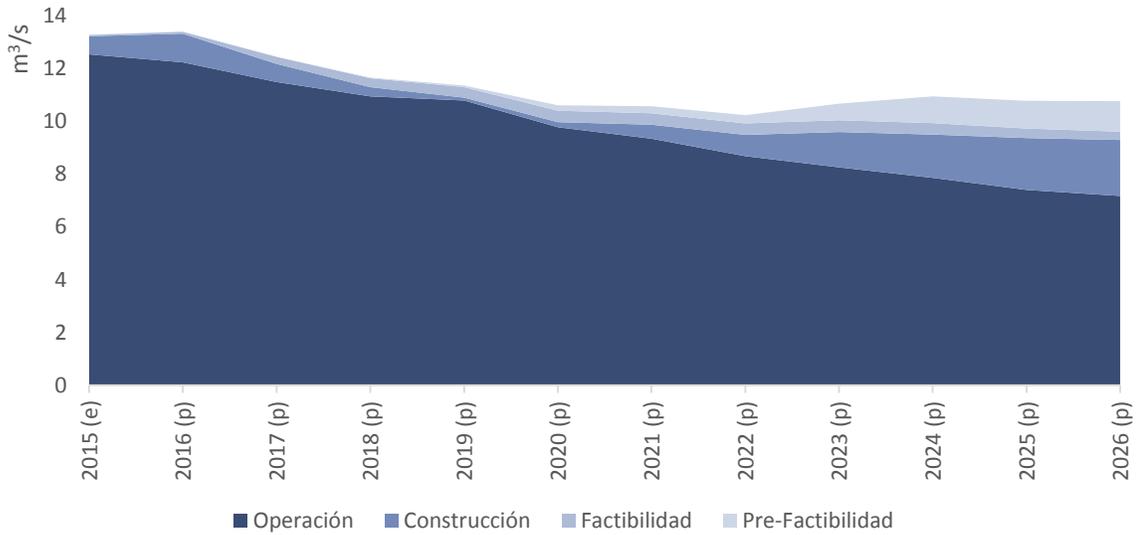


Figura 3-6 Consumo esperado de agua fresca según etapa de desarrollo en la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.

La evolución del consumo esperado según el estado de los permisos ambientales de los proyectos indica una tendencia similar que el caso anterior, donde los proyectos actualmente en operación o con EIA aprobados corresponderían a un 86% del consumo de agua fresca el 2026.

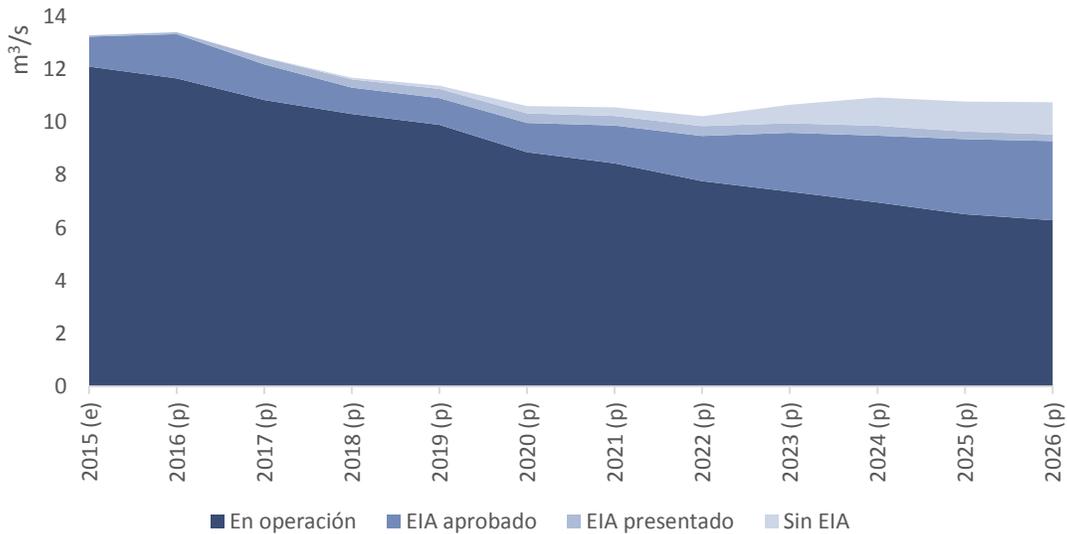


Figura 3-7 Consumo esperado de agua fresca según permisos ambientales en la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.



4 Consumo de agua de mar

Los resultados de la estimación del consumo esperado de agua de mar se realizan considerando los nuevos proyectos que incluyen la desalinización o la impulsión directa. Se incluye además una estimación de los costos que significa la utilización de agua de mar en los proyectos mineros y su impacto en la estructura de costos de la industria.

En términos totales, la Figura 4-1 destaca la evolución entre los años 2009 a 2026 del consumo de agua de mar esperado. En el caso descrito, el consumo esperado de agua de mar mantendría una tasa de crecimiento equivalente al 14,1% anual entre el año 2015 y 2026, justificado por las expansiones de las plantas existentes y por la utilización en los nuevos proyectos en las distintas regiones de la zona norte del país, que son las más afectadas por la estrechez hídrica.

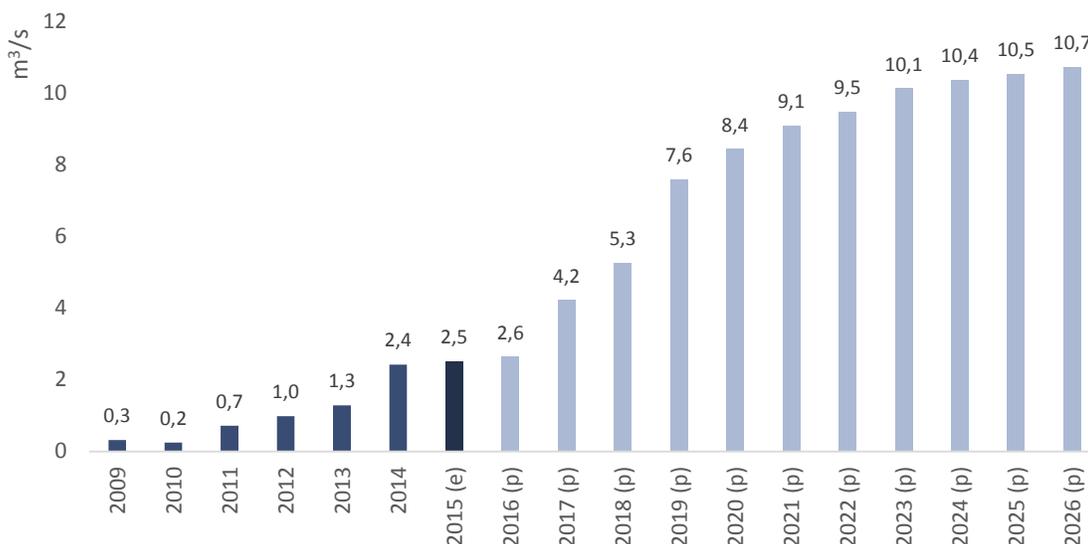


Figura 4-1 Evolución del consumo total de agua de mar en la minería del Cobre en Chile entre los años 2009 y 2026. Fuente: elaboración propia.

Tal crecimiento al de agua fresca, considerando que el año 2009 la relación entre el uso de ambas fuentes era de tan solo 26 litros de agua de mar por metro cúbico de agua fresca, lo cual pasaría a una relación de 1 metro cúbico de agua de mar por metro cúbico de agua fresca.

4.1 Consumo de agua de mar por región

A nivel regional, los consumos de agua de mar son liderados por Antofagasta, seguido en menor medida por Atacama. Cabe destacar la incorporación de nuevos proyectos en las



Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

regiones de Tarapacá y Coquimbo que utilizarían agua de mar en sus procesos, permitiendo un nuevo polo de desarrollo para tales regiones.

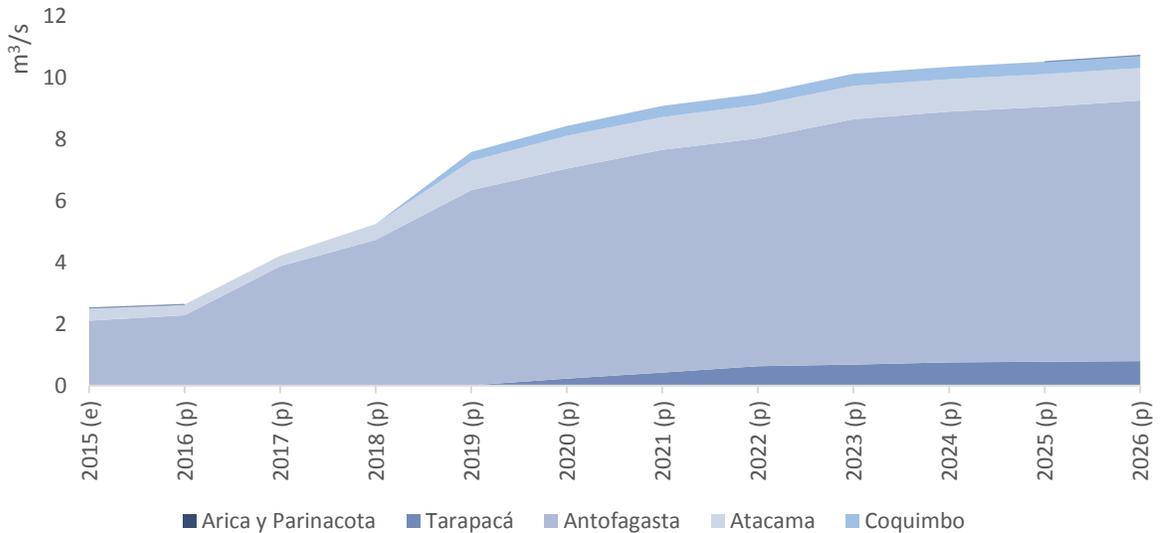


Figura 4-2 Consumo de agua de mar esperado por región en el período 2015-2026. Fuente: elaboración propia.

En términos relativos, la región de Antofagasta a pesar de ser la que experimenta el mayor crecimiento total esperado, decaería levemente su participación desde un 83% al 2015 hasta un 79% al 2026, explicado principalmente por el uso de agua de mar en las regiones de Tarapacá y Coquimbo.

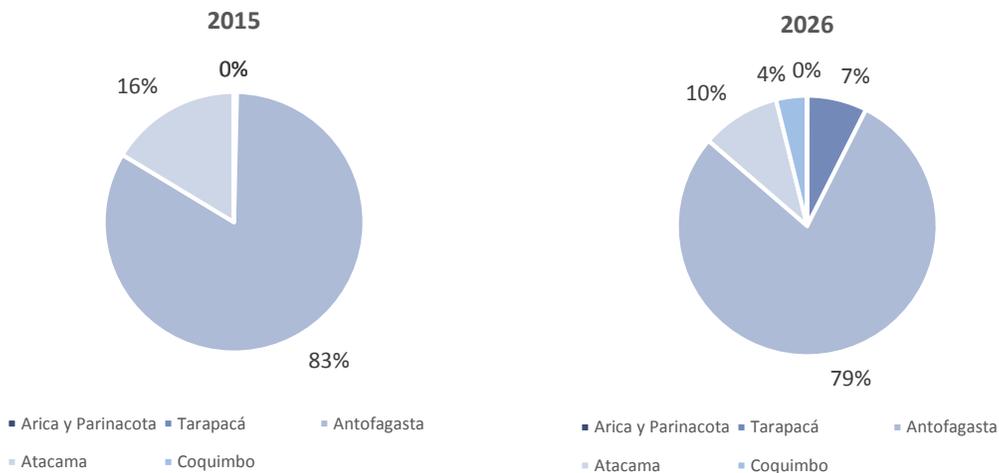


Figura 4-3 Cambio en la participación del consumo de agua de mar esperado en la minería del cobre entre el 2015 (izquierda) y 2026 (derecha). Fuente: elaboración propia.



4.2 Consumo de agua de mar por tipo de proceso

La proyección de consumo esperado de agua de mar, según tipo de proceso, muestra que el crecimiento del uso de ésta será principalmente para las nuevas plantas concentradoras. En tal caso, éstas pasarían de representar cerca de un 87% del consumo de agua de mar el 2015 hasta un 91% al 2026. Tal crecimiento es en parte apoyado por la baja en la proporción del uso de agua de mar para operaciones de hidrometalurgia desde un 7% el 2015 hasta un 4% estimado al 2026.

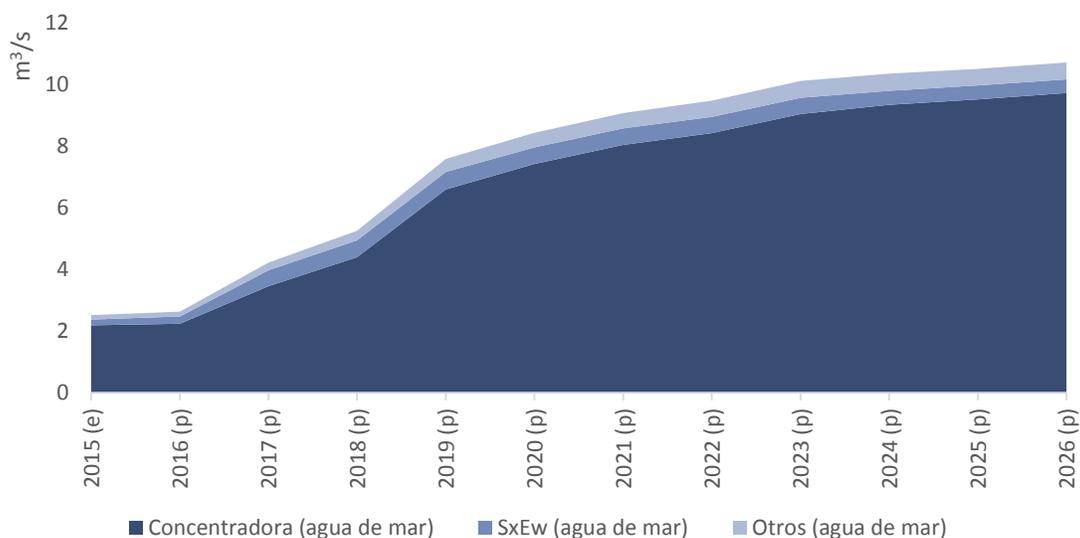


Figura 4-4 Consumo esperado de agua de mar en los distintos procesos de la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.

4.3 Consumo de agua de mar por condición de proyectos

Una de las caracterizaciones claves del consumo de agua de mar se da según la condicionalidad de los proyectos existentes en la cartera de inversiones. Tal condición indica que, a diferencia de lo que ocurre con el consumo esperado de agua fresca, el crecimiento del consumo esperado de agua de mar es más dependiente de la ejecución de las iniciativas con un menor nivel de certeza. Si bien se espera que el consumo de agua de mar aumente sobre un 400% (se multiplica por 4,3 en el 2026 respecto al 2015), las operaciones y proyectos Base y Probable solo apartan un 47% del crecimiento, mientras que los en categoría posible y potencial lo hacen en un 53%.

Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

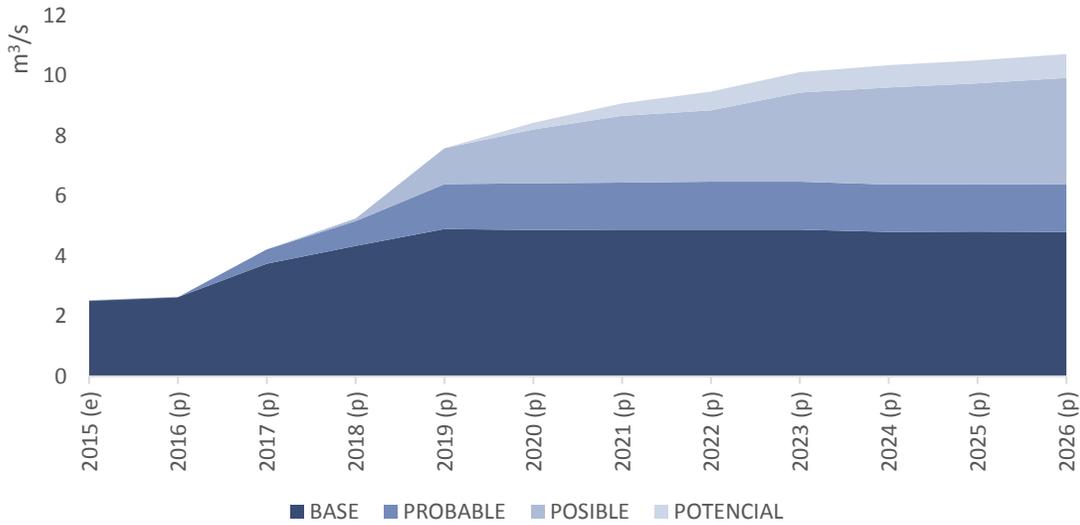


Figura 4-5 Consumo esperado de agua de mar según condición de proyectos y operaciones de la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.

4.4 Consumo de agua de mar por etapa de desarrollo y permisos ambientales

El comportamiento del consumo esperado de agua de mar según la etapa de desarrollo de las operaciones y proyectos se comporta de manera análoga que aquella según la condicionalidad de los proyectos. En este caso, los proyectos que actualmente se encuentran en etapa de factibilidad de su ingeniería representarían un 72% del crecimiento al año 2026 con respecto al año 2015.

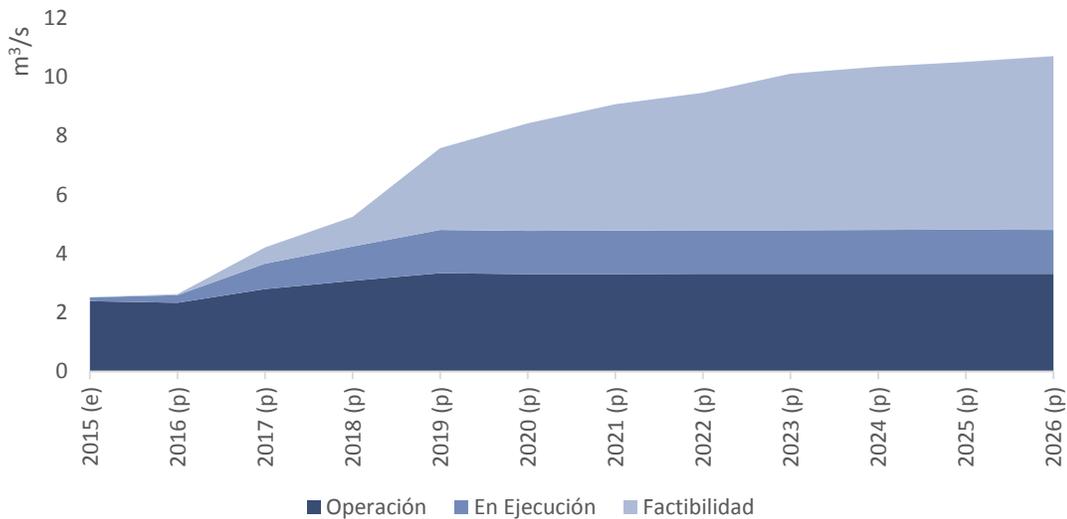


Figura 4-6 Consumo esperado de agua de mar según etapa de desarrollo en la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.



Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

En términos de permisos ambientales, se tiene que al 2026 un 55% del consumo esperado provendría de proyectos sin aprobación ambiental, compuesto por un 38% de proyectos ya ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y un 17% que aún no se han presentado.

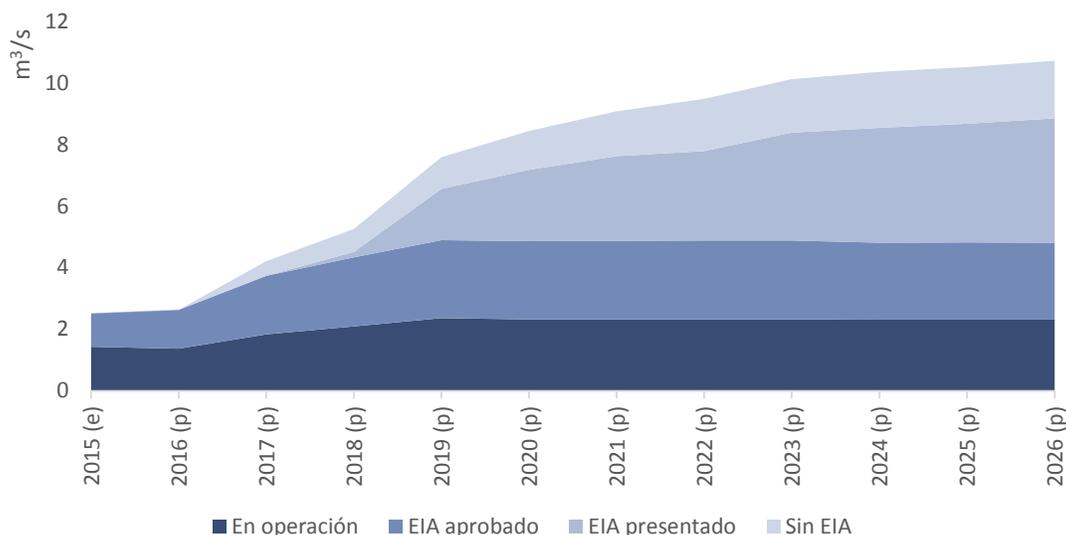


Figura 4-7 Consumo esperado de agua de mar según permisos ambientales en la minería del cobre entre el 2015 y 2026. Fuente: elaboración propia.

4.5 Evolución de capacidad instalada y costo en uso de agua de mar

En este sub capítulo se entrega la información sobre las plantas de desalación o impulsión directa y un análisis conceptual sobre el impacto competitivo del uso de agua de mar en la minería del cobre.

Capacidad instalada

En base a la información recopilada por los distintos proyectos, se tiene que la cantidad de operaciones de la minería del cobre que utilizaría agua de mar en sus procesos ascendería a 17, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 4-1 Capacidad instalado de uso de agua de mar en minería del cobre. Fuente: elaboración propia según información pública de las empresas.

Operación	Año esperado de puesta en marcha	Capacidad desalación [l/s]	Capacidad impulsión directa [l/s]
Michilla	Operando	75	23
Mantoverde	Operando	120	
Escondida (Coloso)	Operando	525-2.500	
Mantos de la Luna	Operando		78
Centinela (Esperanza)	Operando	50	780-1.500
Antucoya	Operando	20	280



Las Cenizas (Taltal)	Operando	9,3	12
Sierra Gorda	Operando	63	1.315
Pampa Camarones	Operando		12,5
Candelaria	Operando	300	
Encuentro	2018	20	115
Diego de Almagro	2018		315
Santo Domingo	2018	2,5-290	389
Radomiro Tomic	2018	1.630	
Dominga	2019	450	
Spence	2019	800-1.600	
Quebrada Blanca	2020	1.300	

Costos de agua de mar desalada

Dada la importancia que ha mostrado tener el uso de agua de mar en los procesos mineros y la generación de distintos proyectos de ley enfocados al uso, regulación u obligación del uso de este insumo, se presenta una estimación del efecto competitivo que tendría en algunas operaciones productoras de cobre. Cabe destacar que tal aproximación es de carácter conceptual, realizada en base a distintos fuentes de información sobre costos, inversiones y consumos unitarios.

Para realizar esta estimación se tomó como base las operaciones mineras productoras de cobre con un consumo de agua fresca superior a 200 l/s. De las 12 operaciones que cumplen con el criterio, se trabajó con aquellas 8 que no tienen contemplados en futuras expansiones o proyectos la instalación de plantas de agua de mar desalada o sin desalar.

Para la estimación de costos de inversión y operación, se consideraron las obras de infraestructura, la planta desaladora, el sistema de bombeo y cañerías para alcanzar la cota geográfica en que se ubica la planta de procesamiento. Las características aproximadas de las operaciones se indican a continuación:

Tabla 4-2 Caracterización de operaciones en base a agua fresca. Fuente: elaboración propia en base a datos de las faenas.

Variable	Unidad	Rango	Promedio
Cota planta	m.s.n.m.	750-4.400	2.400
Consumo de agua	l/s	200-1.500	880
Distancia a la costa	km	60-250	170

En la estimación de orden de magnitud, se consideraron los siguientes supuestos.



Tabla 4-3 Supuestos de inversión y operación considerados. Fuente: CAP Minería, CODELCO, COCHILCO, Acciona Agua, Aqua Advise.

Variable	Unidad	Valor
CAPEX planta desaladora	US\$/ (m^3/dia)	1.739-1940
CAPEX piping	US\$/m	736
CAPEX bombeo	Mill. US\$/un	3,75
Precio energía	US\$/MWh	50-100
Consumo energético (desalación)	KWh/ m^3	3,4
Consumo energético (impulsión)	KWh/ m^3	5-18

En la definición de la estructura de costos de operación se consideró la información recopilada por COCHILCO en otros estudios¹.

En base a las consideraciones anteriores, se alcanzaron valores de inversión que varían entre los 122 millones de US\$ a 615 millones de US\$, dependientes principalmente de su ubicación.

¹ Identificación de insumos críticos para el desarrollo de la minería en Chile, COCHILCO 2014.



Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

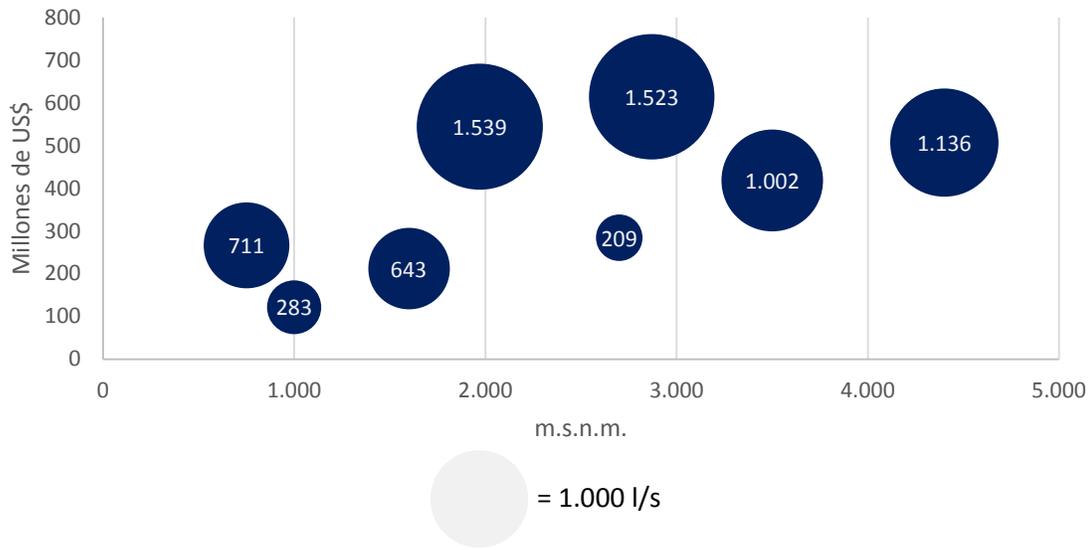


Figura 4-8 Costo de inversión según consumo de agua fresca, cota geográfica y consumo de agua fresca. Fuente: elaboración propia.

En lo referente a los costos de operación del sistema completo (desalación e impulsión), varía entre 1,8 y 3,6 US\$/m³ (considerando un costo de 100 US\$/MWh), lo cual está directamente relacionado a la altura y la distancia que se debe impulsar el agua desalada.

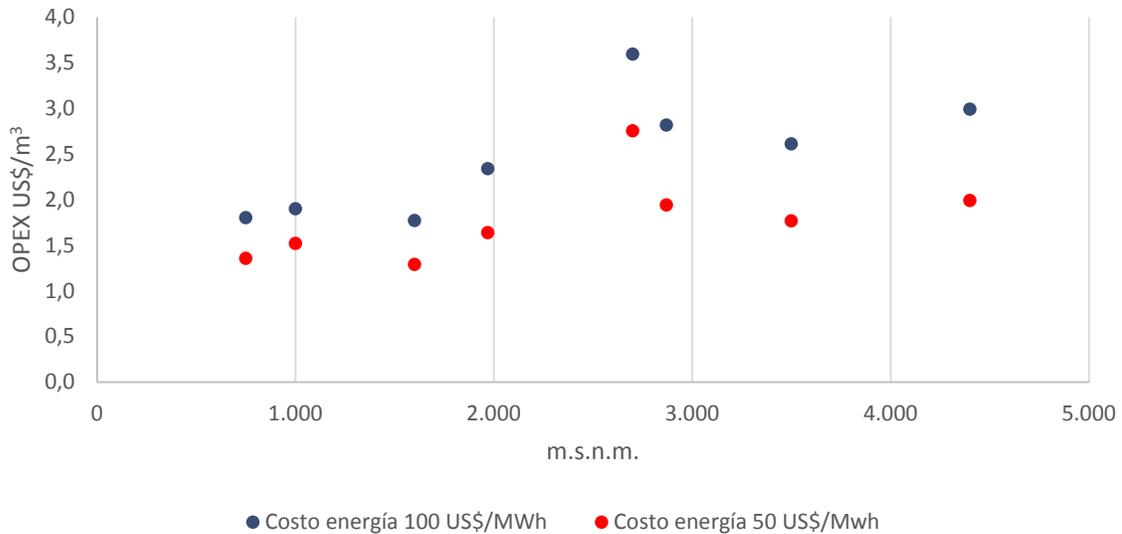


Figura 4-9 OPEX impulsión y desalación para faenas productoras de cobre seleccionadas. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para estudiar el efecto competitivo en las faenas, se determinó el impacto en los costos en términos de cUS\$/lb que significaría para tales operaciones transformar su



Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026

sistema productivo para la utilizar de agua desalada. Se agregaron los costos de inversión² y operación cuyos resultados se muestran en la Figura 4-10. Se diferencia entre los casos con un precio de energía de 50 US\$/MWh (caso 1) y de 100 US\$/MWh (Caso 2).

Los resultados indican un impacto mayor en las operaciones, las que en un escenario de precios de la energía de 100 US\$/MWh, enfrentarían costos de impulsión y desalación entre 7 y 27 cUS\$/lb. En promedio, el costo total alcanzaría 16 cUS\$/lb, siendo 10 cUS\$/lb por efecto de costo de operación y 6 cUS\$/lb por la inversión anualizada.

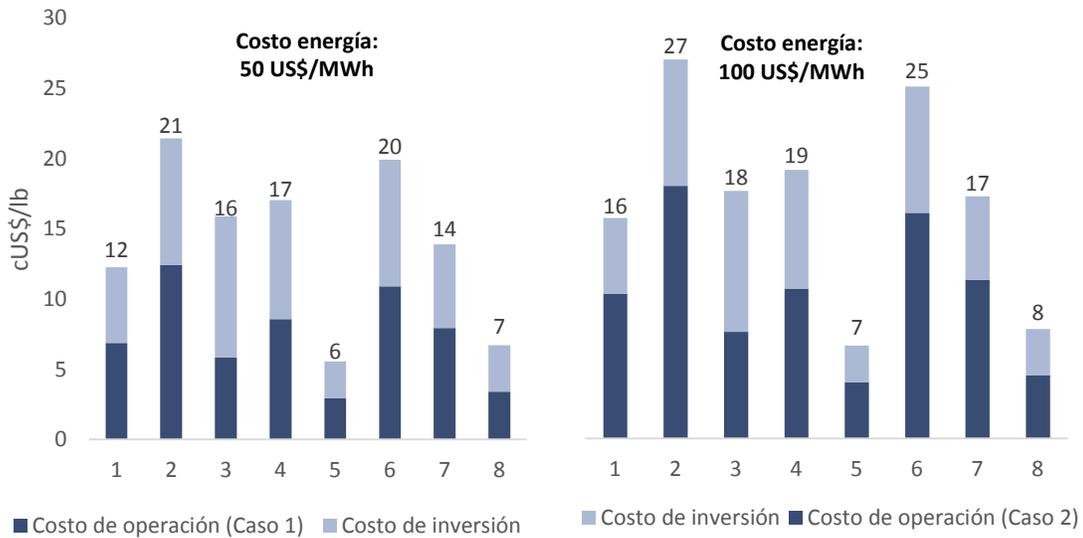


Figura 4-10 Costo de operación de uso de agua de mar desalada en operaciones seleccionadas. Fuente: estimación propia.

² Se consideró una tasa de descuento de 10% y un período de 25 años en la evaluación.



5 Comentarios finales

Siendo el agua un insumo esencial en la producción minera, se justifica contar con una capacidad prospectiva sobre el uso esperado de este recurso en el largo plazo. Adicionalmente, permite comprender los requerimientos hídricos en zonas de situación cada vez más complejas del territorio nacional y la tendencia que exhiben las compañías.

En lo que se refiere al uso de agua fresca, al 2026 se espera una disminución del consumo esperado a 10,8 m³/s, un 19% menos del estimado para el 2015. A nivel regional este consumo manifiesta un cambio de tendencia, pues Antofagasta dejaría de ser la mayor región en consumo de agua fresca el 2015 con un 43% a nivel nacional, pasando a un 20% del total nacional en el 2026. Esto significaría ser superada por Atacama que consumiría un 23% del total esperado a nivel país.

En términos de procesos, el consumo en plantas concentradoras mantendría el liderazgo dada la falta de nuevos proyectos del área hidrometalúrgica del cobre y el agotamiento de minerales lixiviables. De un 71% del consumo de agua fresca esperado al 2015, las concentradoras llegarían a representar un 82% al 2026, mientras que el proceso de electro-obtención de cátodos caería desde un 12% a un 4% en el mismo periodo. Según la condicionalidad de los proyectos, el consumo esperado de agua fresca sería soportado principalmente por proyectos y operaciones de mayor probabilidad de materialización (condición Base y Probable), que explicarían un 87% del consumo esperado al 2026.

En lo referente al consumo esperado de agua de mar, a diferencia de lo que ocurre con el de agua fresca, se espera un crecimiento de 14,1% anual hasta el 2026, es decir, un aumento hasta 10,7 m³/s, 4,3 veces el valor esperado del 2015. Tal crecimiento se daría principalmente en la región de Antofagasta que llegaría hasta los 8,5 m³/s el 2026, pero también a los nuevos proyectos en Coquimbo y Tarapacá, que significarían un 11% del consumo esperado de agua de mar para aquella fecha.

Si bien el mayor crecimiento del consumo de agua de mar provendría de proyectos de concentración de sulfuros (representando un 91% entre los distintos procesos de la minería del cobre al 2026), este crecimiento está ligado a una mayor variabilidad, pues del total esperado al 2026 un 40% se encontraría bajo una condición Posible o Potencial en su materialización.

Sobre el impacto que tendría la utilización de agua de mar desalada en las operaciones mineras con un consumo superior a 200 l/s, la estimación conceptual realizada por COCHILCO permite apreciar que para un costo de la energía de 100 US\$/MWH las faenas estudiadas podrían aumentar sus costos en un promedio de 16 cUS\$/lb, variando según



las necesidades de impulsión (distancia a la costa y ubicación de la planta) en un rango de 7 y 27 cUS\$/lb bajo los supuestos entregados.



6 Anexos

A continuación se entregan las tablas con los resultados de la proyección de consumo de agua fresca y de mar para la minería del cobre.

6.1 Consumo de agua fresca y de mar por región

Agua fresca (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Tarapacá	1.401	1.402	1.374	1.378	1.338	1.288	1.282	1.285	1.280	1.270	1.184	1.189
Antofagasta	5.691	5.586	4.525	3.616	3.070	2.885	2.826	2.430	2.519	2.445	2.284	2.193
Atacama	1.730	1.876	1.902	1.961	2.166	1.610	1.655	1.697	1.995	2.381	2.420	2.510
Coquimbo	649	664	723	790	854	877	884	893	896	900	900	901
Valparaíso	1.149	1.159	1.158	1.155	1.151	1.157	1.088	1.127	1.170	1.179	1.190	1.177
Metropolitana	819	821	821	819	820	818	817	816	815	776	775	775
O'Higgins	1.707	1.766	1.814	1.831	1.842	1.834	1.878	1.843	1.846	1.851	1.884	1.880
No determinada	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141

Agua de mar (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Arica y Parinacota	9	11	12	12	11	11	11	10	10	10	10	5
Tarapacá	0	0	0	0	0	315	514	754	775	808	839	847
Antofagasta	2.098	2.276	3.863	4.719	6.329	6.810	7.232	7.390	7.957	8.134	8.267	8.456
Atacama	412	344	343	522	949	1.062	1.067	1.080	1.088	1.059	1.062	1.050
Coquimbo	0	0	0	0	299	325	358	369	386	403	406	413

6.2 Consumo de agua fresca y de mar por tipo de procesamiento

Agua fresca (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Concentradora	9.424	9.602	9.106	8.625	8.555	8.172	8.202	7.910	8.263	8.597	8.699	8.785
SxEw	1.560	1.479	1.363	1.243	1.178	948	854	846	840	724	515	448
Otros	2.303	2.334	1.989	1.823	1.648	1.490	1.515	1.477	1.560	1.622	1.565	1.532

Agua de mar (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Concentradora	2.190	2.235	3.456	4.397	6.593	7.505	8.137	8.542	9.137	9.398	9.582	9.778
SxEw	188	246	519	553	570	536	536	528	524	455	456	443
Otros	140	151	242	303	423	482	510	533	557	562	547	551

6.3 Consumo de agua fresca y de mar por condición de proyectos

Agua fresca (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Base	13.287	13.415	12.298	11.432	11.031	10.087	9.991	9.597	9.714	9.614	9.480	9.368
Probable	0	0	99	107	110	111	108	109	109	97	16	16
Posible	0	0	61	119	180	201	208	217	220	225	227	228
Potencial	0	0	0	32	60	211	264	309	620	1.008	1.056	1.153

Agua de mar (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Base	2.519	2.632	3.741	4.333	4.895	4.868	4.876	4.881	4.882	4.808	4.818	4.808
Probable	0	0	476	835	1.502	1.560	1.573	1.592	1.594	1.569	1.575	1.578
Posible	0	0	0	84	1.191	2.095	2.733	3.130	3.741	4.038	4.192	4.386
Potencial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.4 Consumo de agua fresca y de mar por etapa de desarrollo y permisos ambientales

Agua fresca (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Operación	12.554	12.258	11.510	10.974	10.808	9.776	9.348	8.677	8.259	7.857	7.397	7.171
Construcción	692	1.075	678	346	109	198	529	806	1.339	1.641	1.966	2.120
Factibilidad	41	83	270	339	404	425	430	441	444	437	359	321
Pre-factibilidad	0	0	0	32	60	211	264	309	620	1.008	1.056	1.153

Agua de mar (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Operación	2.386	2.333	2.806	3.079	3.339	3.312	3.309	3.320	3.315	3.320	3.319	3.315
Construcción	133	264	864	1.170	1.469	1.467	1.477	1.478	1.489	1.488	1.498	1.492
Factibilidad	0	35	548	1.003	2.779	3.745	4.397	4.805	5.414	5.607	5.767	5.964

Agua fresca (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
En operación	12.108	11.666	10.846	10.315	9.902	8.869	8.446	7.777	7.371	6.970	6.515	6.295
EIA aprobado	1.138	1.666	1.342	1.004	1.016	1.105	1.431	1.706	2.228	2.529	2.849	2.996
EIA presentado	41	83	264	307	354	359	362	370	372	364	285	246
Sin EIA	0	0	6	63	110	277	332	380	692	1.081	1.130	1.228



Agua de mar (l/s)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
En operación	1.431	1.378	1.836	2.100	2.362	2.326	2.324	2.323	2.320	2.315	2.316	2.311
EIA aprobado	1.088	1.253	1.905	2.234	2.533	2.542	2.552	2.558	2.562	2.493	2.502	2.497
EIA presentado	0	0	0	180	1.663	2.308	2.746	2.909	3.501	3.734	3.858	4.038
Sin EIA	0	0	476	739	1.029	1.348	1.560	1.813	1.834	1.873	1.909	1.926



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

Emilio Castillo Dintrans

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Javier Hernández Meza

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Octubre/ 2015

