



Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2016-2027

DEPP 31/2016

Registro Propiedad Intelectual

N° 272965

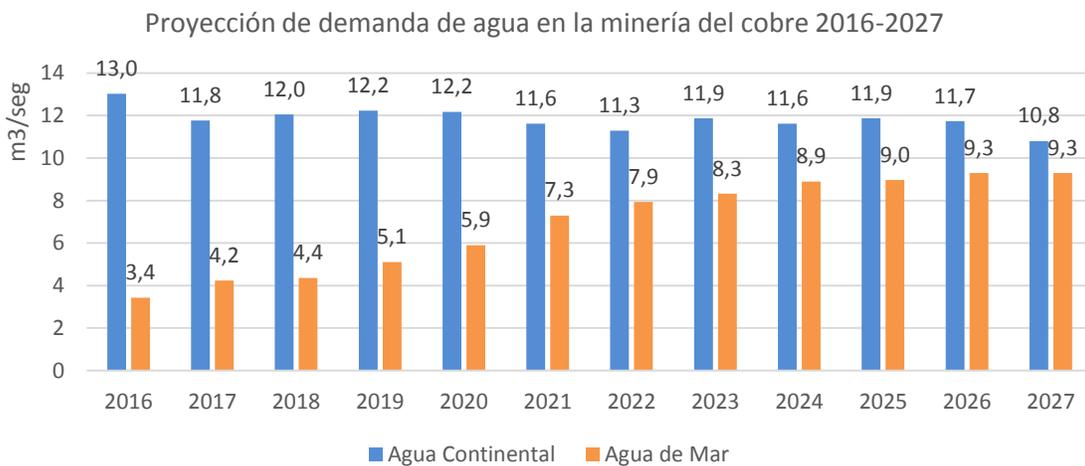
Resumen Ejecutivo

La proyección del consumo de agua en la minería se basa en aplicar a la proyección de producción de cobre de Cochilco, los respectivos coeficientes unitarios de consumo de agua para obtener la demanda futura de un determinado periodo. Además, se determina el consumo según fuente de origen en base a las distintas categorías de los proyectos, incluyendo los proyectos de desalinización e impulsión que existen en cartera.

La metodología para la realización del estudio se basó en los consumos unitarios de cada faena en cada proceso; los perfiles de producción máxima determinados a través del catastro de inversiones mineras, y la probabilidad de materialización de tal cartera en virtud de los antecedentes históricos.

La proyección de producción es el pilar que soporta a la proyección de consumo de agua, ya que determina el mineral procesado en concentrados y la producción de fino en concentrados junto con la producción de cobre fino en cátodos SxEw del 2016 al 2027. Cabe destacar el cambio de la matriz de producción, que en los próximos años se vuelca a los minerales de sulfuros, que deben ser procesados a través de flotación, proceso que es más intensivo en el uso de agua.

Este estudio busca calcular la proyección de demanda de agua continental y de mar por parte de la industria minera del cobre, y realizar un análisis detallado, considerando una visión por región, proceso, estado de avance, condición, escala de producción y tipo de proyecto.



De acuerdo a los valores esperados obtenidos a través de una simulación de Montecarlo, se observa que de manera general, la estimación de consumo total de agua de origen continental esperada al 2027 alcanza los 10,8 m³/s, lo que representa una caída de un 17% respecto al consumo esperado para el 2016. Para el caso del agua de mar se espera que alcance el 46% del agua total requerida en la industria minera del cobre, pues son cada vez más las mineras que se suman a la construcción de sus propias desaladoras o agua de mar directa para enfrentar las limitaciones de agua, en la medida que esto sea factible tanto técnica como económicamente.



Índice

Introducción	1
Capítulo 1 Metodología	3
1.1 Proyección de producción	3
1.2 Coeficientes unitarios	5
1.3 Generación de escenarios	6
1.4 Cálculo del valor esperado.....	8
Capítulo 2 Valor esperado consumo de agua al 2027	10
2.1 Consumo de agua según origen.....	13
2.1.1 <i>Consumo de agua continental</i>	13
2.1.1 <i>Consumo de agua de mar</i>	14
2.2 Consumo de agua por región.....	15
2.2.1 <i>Consumo de agua continental por región</i>	15
2.2.2 <i>Consumo de agua de mar por región</i>	16
2.3 Consumo de agua según tipo de proceso.....	17
2.3.1 <i>Consumo de agua continental según tipo de proceso</i>	18
2.3.2 <i>Consumo de agua de mar según tipo de proceso</i>	19
2.4 Consumo de agua según condición de proyectos	20
2.4.1 <i>Consumo de agua continental según condición de proyectos</i>	20
2.4.2 <i>Consumo de agua de mar según condición de proyectos</i>	20
2.5 Consumo de agua según etapa de desarrollo	22
2.5.1 <i>Consumo de agua continental según etapa de desarrollo</i>	22
2.5.2 <i>Consumo de agua de mar según etapa de desarrollo</i>	23
2.6 Consumo de agua según estado de los permisos ambientales	24
2.6.1 <i>Consumo de agua continental según estado de los permisos ambientales</i>	24
2.6.2 <i>Consumo de agua de mar según estado de los permisos ambientales</i>	25
Capítulo 3 Análisis del comportamiento del consumo de agua continental en la minería del cobre.....	27
Capítulo 4 Comentarios finales	30
Anexos	33
Anexo 1 Condiciones de materialización de un proyecto	33
Anexo 2 Etapas de desarrollo de un proyecto	33
Anexo 3 Categorías según tipo de proyecto minero	34
Anexo 4 Tabla consumo esperado total	34
Anexo 5 Tabla consumo esperado según fuente de origen	34
Anexo 6 Tabla consumo esperado por región.....	35
Anexo 7 Tabla consumo esperado según tipo de proceso.....	36
Anexo 8 Tabla consumo esperado según condición	36
Anexo 9 Tabla consumo esperado según etapa de desarrollo.....	37
Anexo 10 Tabla consumo esperado según estado de los permisos ambientales.....	37



Índice de figuras

Figura 1: Proyección de producción de cobre.....	4
Figura 2: Escenarios de consumo de agua de origen continental.....	8
Figura 3: Proyección de consumo de agua total en la minería del cobre	10
Figura 4: Consumo de agua continental a nivel nacional en la minería del cobre.....	13
Figura 5: Consumo de agua de mar a nivel nacional en la minería del cobre.....	14
Figura 6: Consumo de agua continental por región en la minería del cobre	15
Figura 7: Consumo de agua de mar por región en la minería del cobre	16
Figura 8: Diagrama general procesos de la minería del cobre	17
Figura 9: Consumo de agua continental según tipo de proceso en la minería del cobre	18
Figura 10: Consumo de agua de mar según tipo de proceso en la minería del cobre	19
Figura 11: Consumo de agua continental según condición de proyectos en la minería del cobre.....	20
Figura 12: Consumo de agua de mar según condición de proyectos en la minería del cobre.....	21
Figura 13: Consumo de agua continental según etapa de desarrollo en la minería del cobre	22
Figura 14: Consumo de agua de mar según etapa de desarrollo en la minería del cobre.....	23
Figura 15: Consumo de agua continental según estado de los permisos ambientales en la minería del cobre	24
Figura 16: Consumo de agua de mar según estado de los permisos ambientales en la minería del cobre..	25
Figura 17: Porcentaje de reducción en el consumo de agua continental	28

Índice de tablas

Tabla 1: Coeficientes unitarios promedio de la minería del cobre 2015	5
Tabla 2: Escenarios de materialización de proyectos	7
Tabla 3: Catastro plantas desaladoras y agua de mar.....	12
Tabla 4: Principales pérdidas de agua en procesos.....	28



Introducción

Por años el agua ha sido un recurso escaso y a la vez fundamental para el desarrollo, tanto de las personas como de las actividades, ya sea en el plano doméstico como el productivo. Con la llegada del desarrollo industrial y el aumento demográfico en las ciudades, el agua se convirtió en uno de los factores elementales a la hora de proponer políticas públicas, de manera de establecer su debida extracción y uso en toda nación de manera sustentable, y evitar que la escasez del recurso hídrico pueda inhibir el desarrollo del país.

Por otra parte las principales operaciones mineras se encuentran principalmente desde la región Metropolitana al norte, precisamente la zona que presenta las situaciones de estrés hídrico más extremas.

Es en este contexto que este informe busca aportar, desde una mirada técnica, un antecedente útil para las decisiones de las empresas consumidoras de agua, y de las autoridades públicas sectoriales.

Esta información constituye una señal para el mercado hídrico sobre el potencial de consumo que tiene uno de los sectores de más alto crecimiento e importancia económica para el país, como es la minería.

Las proyecciones de uso futuro se han realizado sobre supuestos que podrían denominarse inciertos, dado que la producción está sujeta a las decisiones de las empresas respecto a la viabilidad de los proyectos.

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, en un rango de tiempo 2016 al 2027.

El detalle de los resultados se entrega a nivel nacional, por región, según tipo de proceso para el tratamiento del mineral, según condición de los distintos proyectos u operaciones, por etapa de desarrollo y según el estado de avance de los permisos ambientales.



Capítulo 1: Metodología



Capítulo 1 Metodología

La proyección del valor esperado del consumo de agua conlleva la ejecución de cuatro etapas. En primer lugar la proyección de producción, para esta etapa se utilizó el catastro de proyectos que elabora COCHILCO año a año con la información actualizada de las operaciones y nuevos proyectos al 2027, con lo que se estima la proyección de producción, tanto en concentrados como en cátodos SxEw y en fundición y refinería.

En segundo lugar se conocen los consumos unitarios de agua fresca de la industria minera del cobre, gracias a la encuesta realizada por COCHILCO anualmente directamente a las empresas. Con esta información se obtienen los coeficientes unitarios de consumo de agua continental por tonelada de mineral tratado para el caso de los concentrados, el consumo de agua continental por tonelada de cobre fino producido en el caso de los cátodos, consumo de agua continental utilizada en el área mina por tonelada de cobre fino producido, el consumo unitarios en fundición y refinería y en el ítem otros.

En tercer lugar en base a la información histórica sobre la materialización de los proyectos de inversión se determina la probabilidad de ocurrencia de producción prevista en las fechas presentadas, con lo que se crean tres escenarios de consumo de agua.

Finalmente estos escenarios de someten a un modelo a través de funciones de probabilidad y generación de escenarios de manera aleatoria.

1.1 Proyección de producción

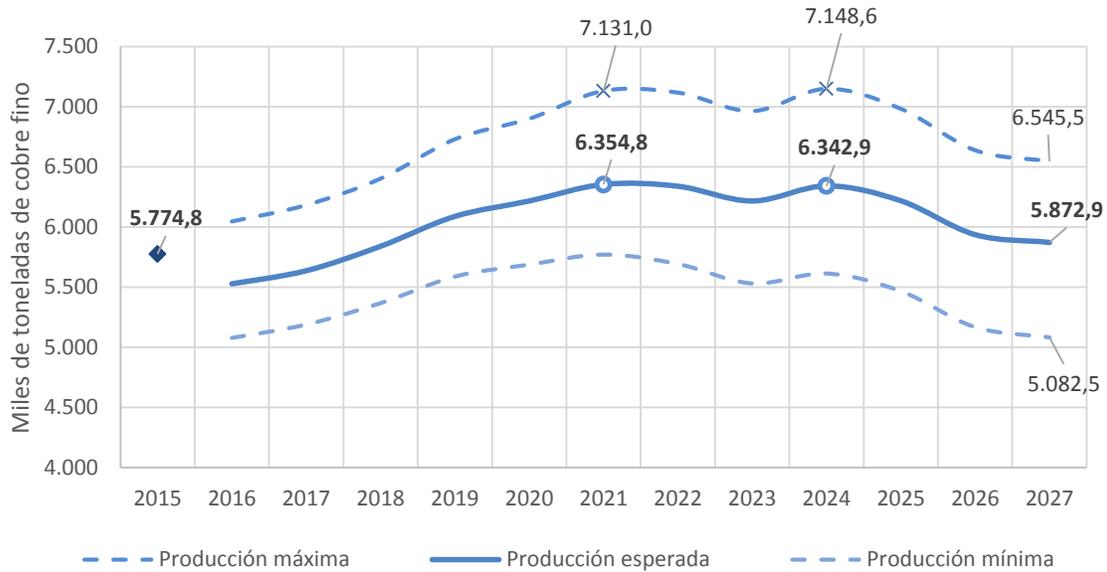
Las operaciones vigentes y los proyectos de minería del cobre, incluida la producción de cobre de la minería de hierro y oro con cobre como coproducto, suministran el vector de producción para la proyección de demanda de agua, continental y de mar, en la minería del cobre.

La proyección de producción es el pilar que da soporte a la proyección de consumo de agua, ya que determina el mineral procesado en concentrados y la producción de fino en concentrados junto con la producción de cobre fino en cátodos SxEw del 2016 al 2027.

Para una mayor información en cuanto a los proyectos mineros, consultar el informe “Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2016 -2025”, disponible en www.cochilco.cl (Cochilco 2016).



Figura 1: Proyección de producción de cobre



La figura 1 muestra la curva esperada para la proyección de producción de cobre fino en Chile. Los resultados de esta proyección indican un leve aumento productivo a nivel país, para pasar de las actuales 5.775 miles de toneladas de cobre fino declaradas en 2015 a alrededor de 5.873 miles de toneladas hacia el 2027, un aumento de 1,7% con respecto a 2015 a una tasa de crecimiento anual de 0,13%.

Este leve aumento de producción viene acompañado de dos *peaks* productivos: durante 2021 donde se espera que alcance las 6.355 miles de toneladas y el 2024 donde llegaría a 6.343 miles de toneladas. Cabe destacar que la producción nacional de las operaciones actuales ha mantenido una tendencia a la baja, estimándose que sin la inclusión de proyectos de reposición y expansión o nuevas iniciativas productivas, esta caería un 34,21% hacia el 2027 (3.799 miles de toneladas). Esta disminución en la producción de los proyectos en *operación* ocurre como un proceso natural de envejecimiento de las faenas actuales al existir una disminución de las leyes y un agotamiento del mineral explotado, muy marcado en las operaciones productoras de cátodos SxEw. (Cochilco 2016)



1.2 Coeficientes unitarios

El consumo unitario de agua continental se refiere a la cantidad de agua utilizada para procesar u obtener una unidad de materia prima o de producto. La tasa de consumo unitario es expresada en metros cúbicos de agua continental por cada tonelada.

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 1: Coeficientes unitarios promedio de la minería del cobre 2015

Coeficientes unitarios	Unidades	2015
Concentración	m ³ /ton_min	0,52 *
Hidrometalurgia	m ³ /ton_fino	35,51
Área Mina	m ³ /ton_fino	3,34
Fundación y Refinería	m ³ /ton_fino	0,69
Otros	m ³ /ton_fino	4,01

* Por mineral procesado, no fino producido.

Para establecer los coeficientes de las operaciones y proyectos se utilizaron los siguientes criterios:

- Para las faenas en operación se utiliza el coeficiente de consumo de agua continental reportado al 2015.
- Para proyectos de expansión se utiliza el mismo coeficiente que la operación madre o operaciones de análogas características.
- Para efectos de la proyección estos coeficientes se mantienen constantes.
- Para los nuevos proyectos se consideran coeficientes unitarios de operaciones similares, o el promedio de la industria.
- En el caso de agua de mar se establecen coeficientes similares a los de las operaciones actuales con agua de origen marino.
- Para los proyectos que tienen asociado el uso de agua de mar se rigen en base a las capacidades de las plantas y sistemas de impulsión.



1.3 Generación de escenarios

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 y la producción se mantenga sin cambios. 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.

- **Escenario de producción máxima:** considera que las operaciones continúan según lo planificado y todos los proyectos se ponen en marcha en la fecha y capacidad productiva estimada actualmente por sus titulares. Es, por cierto, un escenario optimista.
- **Escenario de producción más probable:** pondera los perfiles de producción de cobre esperado y reportado por las firmas mineras con valores menores a la unidad, ya que existe una alta probabilidad de que los proyectos sufran variaciones y no se lleven a cabo en la fecha y capacidad productiva estimada inicialmente. Esta ponderación ha sido determinada por Cochilco en base a información histórica del comportamiento de la materialización de proyectos mineros, obtenida de los catastros de proyectos históricos publicados por Cochilco.
- **Escenario de producción mínima:** que ajusta el escenario más probable con cifras inferiores dentro de un criterio técnico razonable. Es, entonces, un escenario pesimista.

El valor del consumo de agua para un año t se calcula como se muestra en la ecuación (1):

$$\text{Consumo_Agua}_t = \sum_i E[f(X_{ijkt}; Y_{ijkt}; Z_{ijkt})] \quad (1)$$

Donde,

- i : Faena minera considerada.
- j : Tipo de producto final considerado.
- K : Condición/estado del proyecto minero considerado¹.
- t : Año considerado en el periodo de proyección.

¹ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.



- f : Distribución de probabilidad que describe el rango de valores que puede tomar el consumo de electricidad y la probabilidad asignada a cada valor de acuerdo a las variables de entrada.
- Z_{ijkt} : Corresponde a la producción máxima de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.
- Y_{ijkt} : Corresponde a la producción más probable de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.
- X_{ijkt} : Corresponde a la producción mínima de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.

Por otra parte, con respecto al ponderador para la capacidad de la operación o proyecto, éste depende del estado y condición del proyecto y del escenario que se estaba generando. En la tabla 2 se presentan los vectores de probabilidades utilizados según el escenario, estado y condición del proyecto. Los vectores fueron calculados en base a información histórica de los proyectos, obtenida de los catastros de proyectos históricos publicados por COCHILCO. Cabe señalar que para el caso de los proyectos el año 1 corresponde al año de puesta en marcha previsto en el catastro de proyectos de Cochilco 2016.

Tabla 2: Escenarios de materialización de proyectos

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	Año 13	Año 14
Potencial Prefactibilidad	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Potencial Factibilidad	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Posible Factibilidad	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Probable	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Base	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84

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	Año 13	Año 14
Potencial Prefactibilidad	0,16	0,28	0,38	0,5	0,61	0,68	0,72	0,8	0,82	0,84	0,85	0,86	0,9	0,9
Potencial Factibilidad	0,38	0,5	0,61	0,68	0,72	0,8	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,9	0,9	0,91
Posible Factibilidad	0,61	0,68	0,72	0,8	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,9	0,9	0,91	0,91	0,92
Probable	0,8	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,9	0,9	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92
Base	0,84	0,85	0,86	0,88	0,9	0,9	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92



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	Año 13	Año 14
Potencial Prefactibilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Potencial Factibilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posible Factibilidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Probable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Base	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

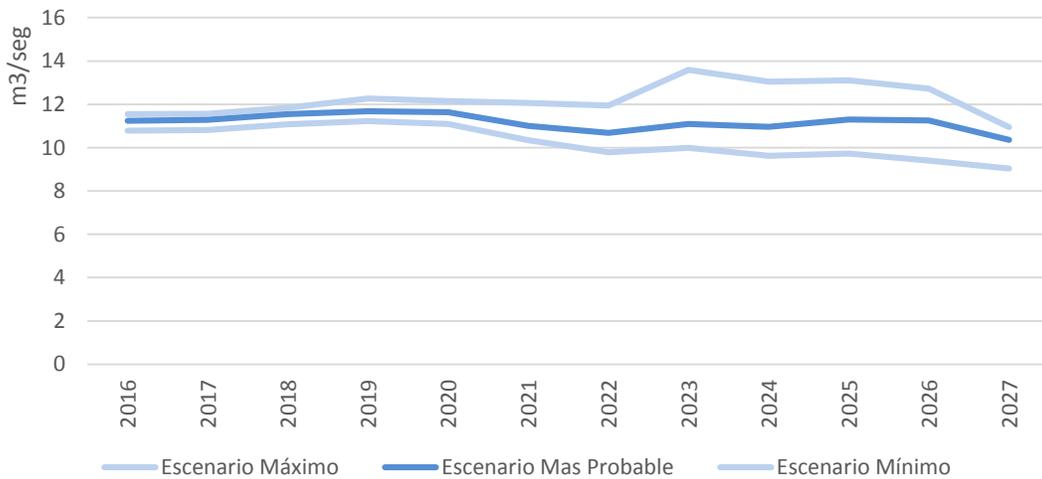
Para el caso del escenario más probable la información lleva de manera implícita que un proyecto potencial en prefactibilidad tarda dos años en pasar a factibilidad, luego dos años a la categoría posible, luego otros tres años hasta probable y dos años de probable a base.

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.

1.4 Cálculo del valor esperado

A partir de la generación de escenarios se obtiene tres valores de consumo anual del proceso individualizado, uno por cada escenario, los que se someten a la simulación Montecarlo con el fin de generar una distribución probabilística de su consumo anual, a la cual se le calcula el estadístico valor esperado. Los valores esperados de cada una de las distribuciones obtenidas se sumaron para obtener el consumo esperado de agua.

Figura 2: Escenarios de consumo de agua de origen continental



Estos escenarios corresponden a los input de la simulación de Montecarlo, la cual la como resultado el vector de valor esperado.



Capítulo 2:

Valor esperado consumo de agua al 2027



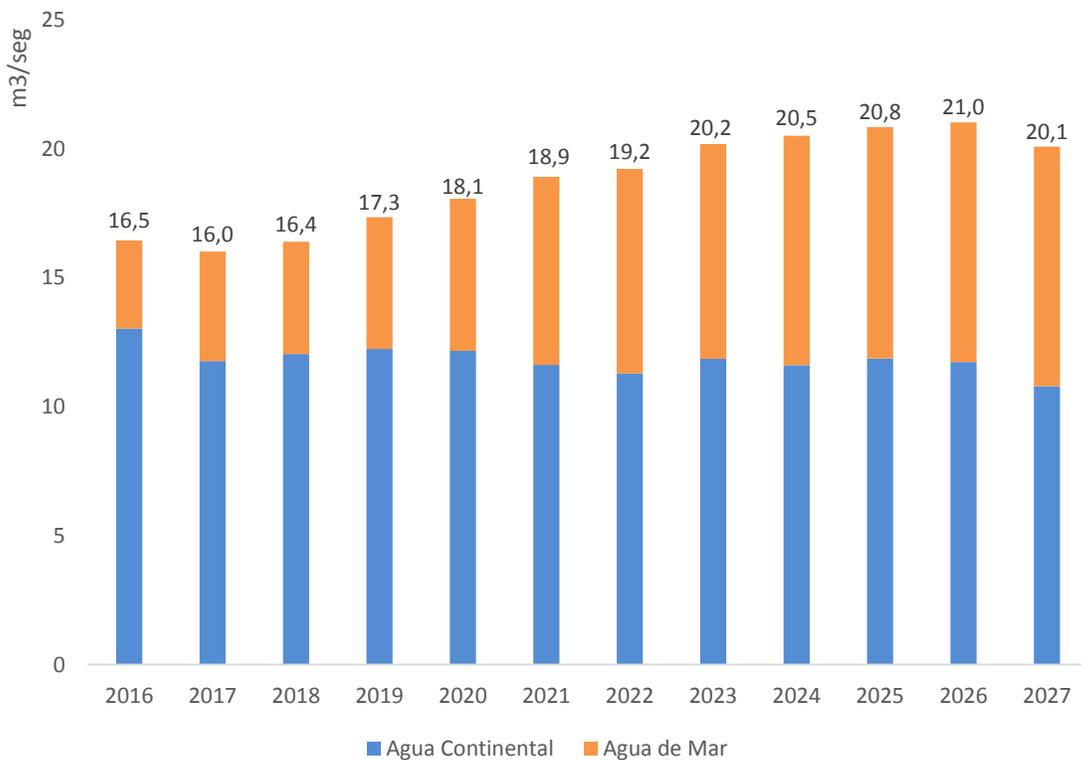
Capítulo 2 Valor esperado consumo de agua al 2027

A nivel nacional la proyección de consumo esperado al 2027 es de 20,1 m³/seg de agua, independiente si es de origen continental o de mar.

No debemos olvidar el comportamiento de la producción esperada, ya que durante el quinquenio 2021-2025, es en donde la producción esperada del país alcanza su máximo valor, 6.355 miles de toneladas hacia el 2021, sin embargo el quinquenio se cierra con una producción de 6.218,9 miles de toneladas el año 2025. En este periodo se empieza a observar el fuerte decaimiento de la producción de cátodos SxEw. Luego en el quinquenio 2026 – 2027 la producción del país se reciente por la fuerte caída de producción hidrometalúrgica, con una tasa de decaimiento del 1,89% anual, manteniéndose estable en producciones cercanas a las 5.900 miles de toneladas de cobre fino al año.

En el periodo 2016-2027 la tasa promedio de crecimiento anual de producción es de un 0,65%, mientras que para el consumo de agua total la tasa de crecimiento promedio anual es de 2,5%. Esto es reflejo, en parte, del cambio de la matriz de producción, que se vuelca a los minerales de sulfuros, que deben ser procesados a través de flotación, proceso que es más intensivo en el uso de agua. Por otra parte la caída en las leyes de los minerales hace necesaria una mayor cantidad de agua para obtener una tonelada de cobre fino, ya que es necesario procesar una mayor cantidad de mineral.

Figura 3: Proyección de consumo de agua total en la minería del cobre



Evolución de la capacidad instalada de agua de mar

De acuerdo al catastro realizado por COCHILCO en base a información pública se consideraran las plantas desaladoras y sistemas de uso de agua de mar directamente en los procesos mineros. La tabla se realiza en base a información pública.

Para la proyección de consumo de agua en la minería al 2027 se plantea la continuidad y puesta en marcha de los sistemas descritos en la tabla.



Tabla 3: Catastro plantas desaladoras y agua de mar

PROP.	MINA	SECTOR	REGIÓN	TIPO DE PROYECTO	ETAPA DE DESARROLLO	CONDICIÓN	AÑO PUESTA EN MARCHA	CAPACIDAD DE DESALACIÓN	CAPACIDAD USO AGUA DE MAR
ANTOFAGASTA MINERALS	Michilla	Med Min Cu	Antofagasta	N/A	Cerrada	Base	N/A	75	25
ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Med Min Est Cu	Antofagasta	N/A	Operación	Base	N/A	-	15
LAS CENIZAS	Las Cenizas Taltal	Med Min Cu	Antofagasta	N/A	Operación	Base	N/A	9	12
MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Med Min Cu	Antofagasta	N/A	Operación	Base	N/A	-	78
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Med Min Cu	Arica y Parinacota	N/A	Operación	Base	N/A	12,5	-
ANTOFAGASTA MINERALS	Centinela (Esperanza + El Tesoro)	Gran Min Cu	Antofagasta	N/A	Operación	Base	N/A	50	780
BHP BILLITON	Escondida - Planta Coloso	Gran Min Cu	Antofagasta	N/A	Operación	Base	N/A	525	-
ANTOFAGASTA MINERALS	Antucoya	Gran Min Cu	Antofagasta	Nuevo	Operación	Base	N/A	20	280
LUNDING MINING	Candelaria	Gran Min Cu	Atacama	N/A	Operación	Base	N/A	300-500	-
MANTOS COPPER	Mantoverde	Gran Min Cu	Atacama	N/A	Operación	Base	N/A	120	-
KGHM INT.	Sierra Gorda	Gran Min Cu	Antofagasta	Nuevo	Operación	Base	N/A	63	1.315
BHP BILLITON	Escondida EWS	Gran Min Cu	Antofagasta	N/A	Operación	Base	2017	2.500	-
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro	Gran Min Cu	Antofagasta	Reposición	En Ejecución	Base	2018	20	*
CODELCO-CHILE	Planta desaladora Distrito Norte	Estatal	Antofagasta	Reposición	En Ejecución	Base	2020	1.630	-
ANTOFAGASTA MINERALS	Los Pelambres Ampliación Marginal I y II	Gran Min Cu	Coquimbo	Expansión	Factibilidad	Probable	2018	400	-
LUNDING MINING	Candelaria 2030	Gran Min Cu	Atacama	Reposición	Factibilidad	Probable	2018	500	-
CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Gran Min Cu	Atacama	Nuevo	Factibilidad	Probable	2019	2,5-290	389
COPEC	Diego de Almagro	Med Min Cu	Atacama	Nuevo	Factibilidad	Probable	2019	-	315
BHP BILLITON	Spence Growth Option	Gran Min Cu	Antofagasta	Nuevo	Factibilidad	Posible	2019	800-1.600	-
ANDES IRON SpA	Dominga	Hierro	Coquimbo	Nuevo	Factibilidad	Posible	2019	450	-
MANTOS COPPER	Desarrollo Mantoverde	Gran Min Cu	Atacama	Nuevo	Factibilidad	Potencial	2021	380	-
TECK	Quebrada Blanca Hipógeno	Gran Min Cu	Tarapacá	Nuevo	Factibilidad	Potencial	2021	1.300	-
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro Sulfuros	Gran Min Cu	Antofagasta	Nuevo	Factibilidad	Potencial	2024	-	*

* Aumento de capacidad en tuberías de Esperanza para alcanzar los 1.500 l/s



2.1 Consumo de agua según origen

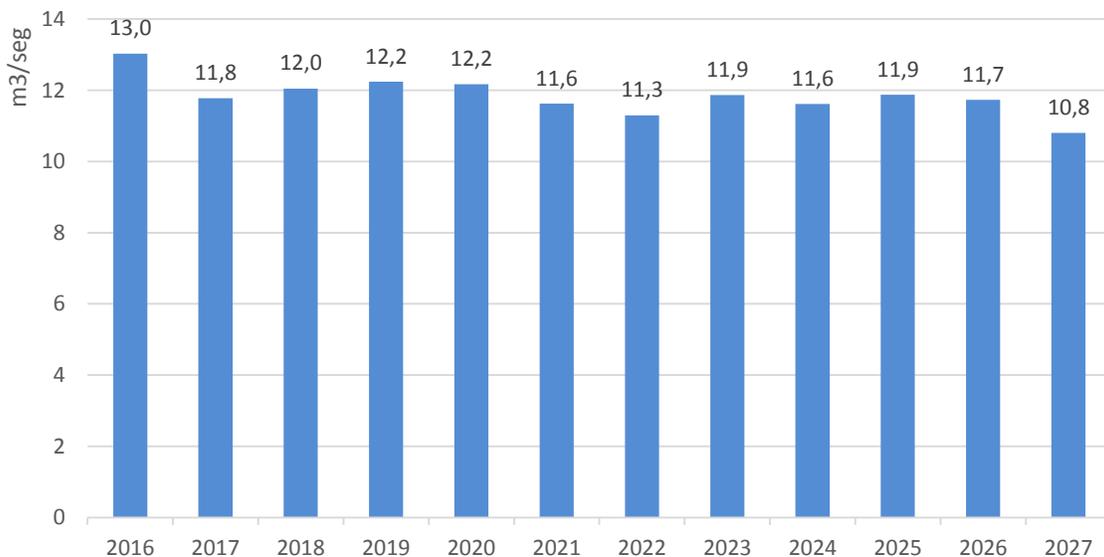
Asociado a los conceptos de consumo de agua deben distinguirse aquellos referidos a agua de origen continental, también llamada agua fresca, y el agua de mar.

En primer lugar, la extracción de agua continental se refiere a las extracciones provenientes de aguas superficiales como aguas lluvias, escorrentías, embalses superficiales, lagos, ríos y aguas subterráneas, como las aguas alumbradas y acuíferos, y aguas adquiridas a terceros. En segundo lugar, el agua de mar se refiere a aquellas provenientes del mar, ya sean desalinizadas o utilizadas directamente en el proceso. Un mayor detalle de los términos se encuentra en el anexo 1.

2.1.1 Consumo de agua continental

El agua de origen continental, es un recurso escaso, que no solo es considerado una limitante hidrológica, también se trata, cada vez en mayor grado, de un problema económico, que podría restringir el desarrollo de la gran mayoría de las actividades industriales. La gestión de los recursos hídricos es cada vez más importante en el desarrollo sustentable de la visión de largo plazo de las empresas lo que se refleja en la proyección para la próxima década.

Figura 4: Consumo de agua continental a nivel nacional en la minería del cobre



La fuerte caída entre 2016 y 2017 se debe por la entrada en operación de la planta Escondida EWS, el cronograma señala que la planta comience su producción a mediados de 2017.

De manera general, la estimación de consumo total de agua de origen continental esperada al 2027 alcanza los 10,8 m³/s, lo que representa una caída de un 17% respecto al consumo esperado para el 2016.



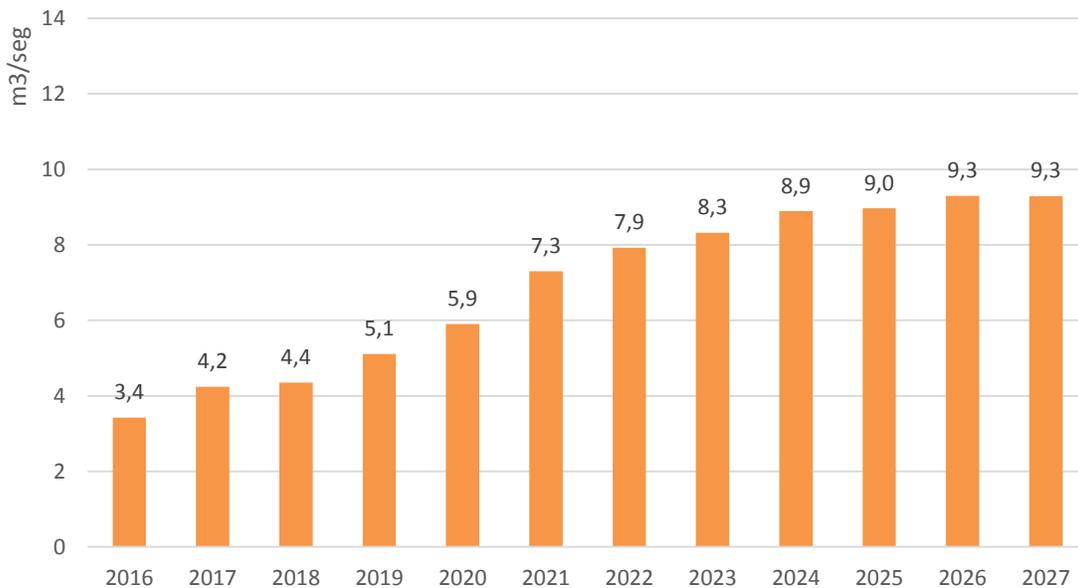
2.1.1 Consumo de agua de mar

Por su parte el uso de agua de mar no es un tema nuevo en la búsqueda de soluciones a la escasez del recurso hídrico en el mundo. En nuestro país la posibilidad de que este proceso pueda ejecutarse a corto plazo representa una alternativa para afrontar la limitación que este recurso trascendental significa para muchas zonas de Chile y para distintos sectores productivos, no solo el minero.

En el caso del agua de mar la situación es diametralmente diferente al del agua continental, en la medida que el consumo de agua continental disminuye, el agua de mar observa un crecimiento hasta alcanzar los 9,3 m³/seg al 2027. Vale la pena destacar que uno de los principales efectos en la disminución del consumo de agua continental proviene de la puesta en marcha de la planta de Escondida, EWS, que estima un inicio de operación el año 2017 con una capacidad de 2.500 l/s, aunque ya se han adelantado algunos hitos; en septiembre de 2016 se puso en marcha de manera anticipada, y ya se han enviado 160 lts/seg adicionales desde la actual planta coloso a través del sistema de impulsión de EWS. Otro de los hitos del proyecto, conocido como *Early Water*, debiera ser alcanzado durante noviembre, que significarían 833 l/s de agua adicionales para sus operaciones. Para la proyección se considera la entrada progresiva de éstas de acuerdo a su producción.

Al 2027 se espera que el agua de mar represente un 46% del agua requerida por la minería del cobre a nivel nacional.

Figura 5: Consumo de agua de mar a nivel nacional en la minería del cobre



En la figura 4 se aprecia la evolución del consumo de agua de mar a lo largo de los años, pues son cada vez más las mineras que se suman a la construcción de sus propias desaladoras para enfrentar



las limitaciones de agua fresca, en la medida que esto sea factible tanto técnica como económicamente.

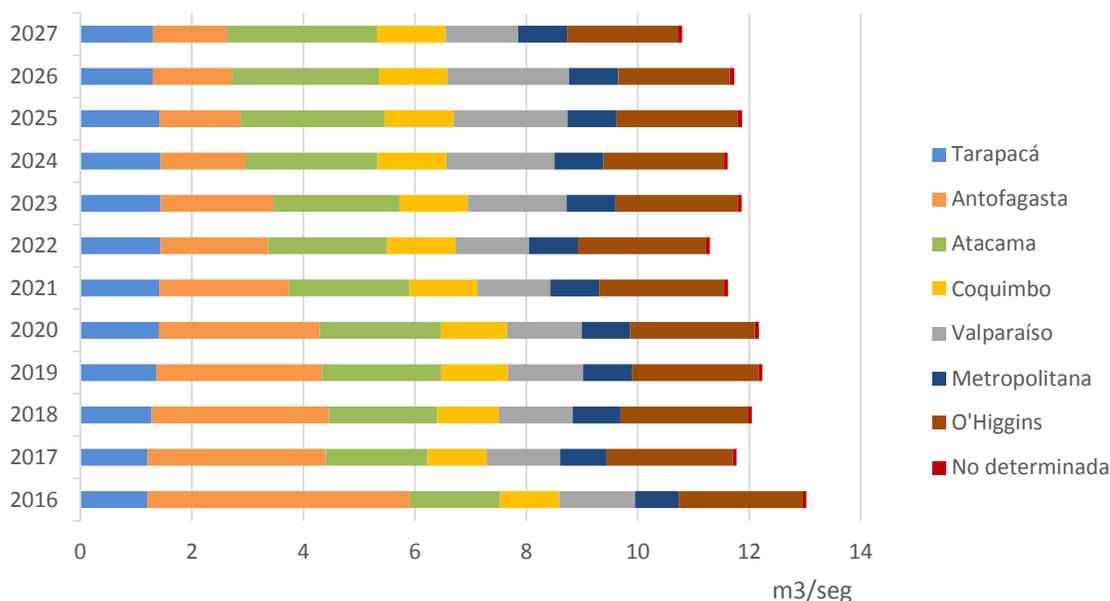
2.2 Consumo de agua por región

A nivel nacional la minería representa un 3% de los usos consuntivos del agua², pero sus actividades muchas veces se ubican en las zonas secas o cuencas donde se encuentran las nacientes de las aguas. Por su ubicación en la zona centro y norte del país su incidencia regional y local puede ser mayor que la reflejada a escala nacional.

2.2.1 Consumo de agua continental por región

Desde el punto de vista del agua continental, vemos un decrecimiento en la participación de Antofagasta muy marcado, y lo contrario en el caso de Atacama, mientras las otras regiones se mantienen estables, como se observa en la figura 5.

Figura 6: Consumo de agua continental por región en la minería del cobre



Esto se debe al uso de agua de mar, que en los próximos años tiene su mayor desarrollo en la región de Antofagasta, lo que permite una disminución en el uso de agua continental. Para Atacama, si bien el desarrollo de proyectos con agua de mar también tiene un aumento considerable, el desarrollo de nuevos proyectos que significan un aumento de producción es mayor.

Las regiones con mayor crecimiento en la producción son la región de Atacama con un 34%, la región de Valparaíso con un incremento de su producción anual en un 18%, seguido por la región de

² <http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte4-17marzo2016b.pdf>

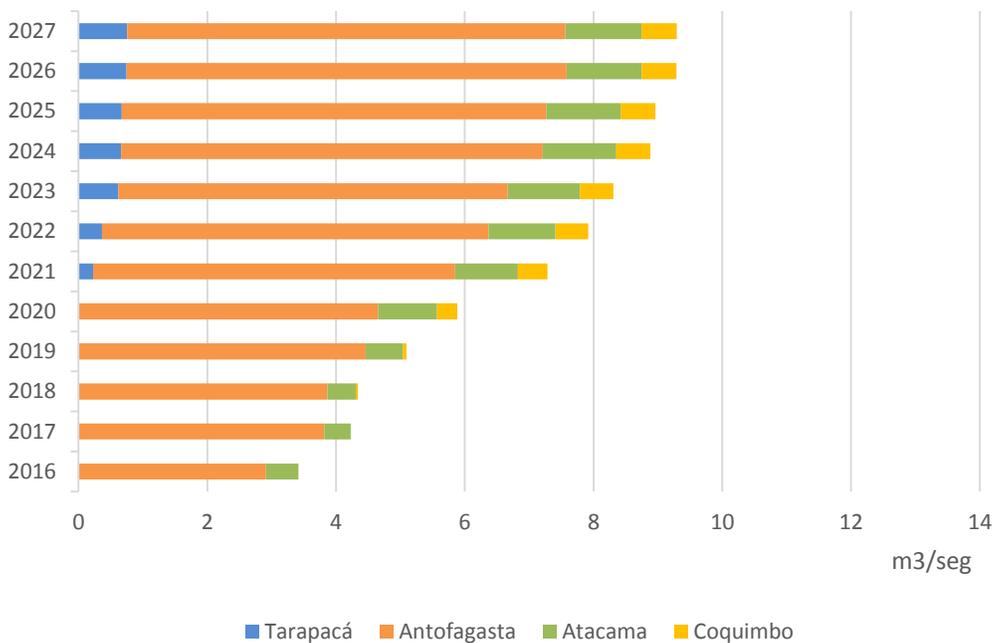


Coquimbo con un crecimiento de un 16% y finalmente la región de Tarapacá con un 9%. Cabe destacar que entre los años 2017 - 2022 es donde el impulso productivo de la región de Atacama será mayor.

2.2.2 Consumo de agua de mar por región

Ahora bien, al analizar el consumo de agua de mar por región en la figura 6 se observa una fuerte participación de la región de Antofagasta, seguido en menor medida por la región de Atacama, luego Coquimbo y en menor proporción la región de Tarapacá, con un bajo nivel de certidumbre.

Figura 7: Consumo de agua de mar por región en la minería del cobre



En el caso de Antofagasta las operaciones que actualmente utilizan agua de mar son Escondida, Centinela, Antucoya, Michilla, Mantos de la luna, Las Cenizas Taltal, planta J.A. Moreno y Sierra Gorda. Por otra parte existen proyectos que planifican el uso de este recurso, entre los que se encuentran la ampliación de la planta desalinizadora de Escondida, actualización de Esperanza y su posterior extensiones de red para abastecer el proyecto Encuentro, planta distrito norte de Codelco, y Spence Growth Project. Al 2027 se espera que el uso de agua de mar represente más del 80% del consumo de agua para la minería del cobre en la región.

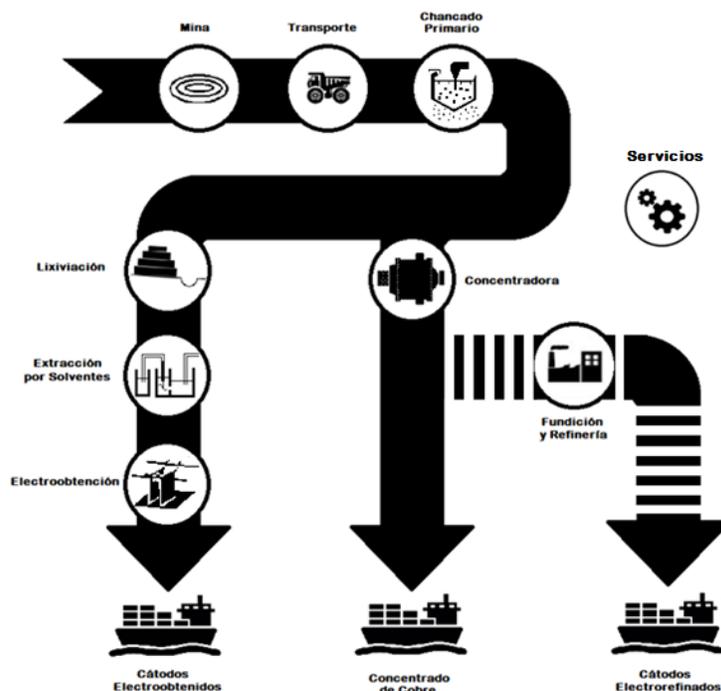
Para la región de Atacama el uso de agua de mar representa un alto porcentaje cercano al 30% al 2027, el hecho de que ésta región atraviesa una severa sequía, hace que la región concentre parte de los proyectos mineros cuyo desarrollo plantea uso de agua de origen marino. Los principales proyectos que proponen el uso de agua de mar son la actual planta de Mantoverde y su futura expansión para el proyecto de desarrollo Mantoverde, Candelaria y su expansión Candelaria2030, Santo Domingo y el proyecto Diego de Almagro.



2.3 Consumo de agua según tipo de proceso

La utilización de agua en el proceso minero es descrita brevemente en la siguiente figura. Para la estructuración de la información, se han considerado los distintos procesos involucrados en la producción de cobre en el país. Cada uno de estos puntos representa un centro de consumo de agua, unos más intensivos que otros, pero que a fin de cuentas requieren del recurso hídrico para realizar su tarea.

Figura 8: Diagrama general procesos de la minería del cobre



En el caso del área mina este incluye la mina, ya sea a cielo abierto o subterránea y el transporte del material hasta el chancado primario. En esta área el agua es utilizada principalmente para la supresión de polvo en caminos, y en la extracción y bombeo desde labores subterráneas.

El área de planta concentradora comprende el procesamiento de minerales, el cual representa el mayor consumo de agua con respecto a los volúmenes totales. Esta área involucra la conminución del mineral, luego la flotación, clasificación y espesamiento. Según la distancia entre la concentradora y las instalaciones de filtrado y almacenaje, las aguas residuales pueden o no ser recirculadas al proceso. Una parte importante del agua que se utiliza en la flotación pasa a formar parte de los relaves, que se envían a la etapa de espesamiento para recuperar una parte del agua que contienen.

Por su parte, el área planta hidrometalúrgica considera los procesos de lixiviación en pilas, la extracción por solventes y la electro-obtención para la producción de cátodos. En este proceso los principales consumos de agua resultan como consecuencia de la evaporación de las pilas de



lixiviación donde se vierte una solución ácida, de agua con ácido sulfúrico en la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila disolviendo el cobre contenido en los minerales oxidados.

En cuarto lugar está la fundición y refinación. El concentrado seco se somete a un proceso de pirometalurgia para obtener placas gruesas, de forma de ánodos. Este es comercializado directamente o enviado al proceso de refinación la cual se lleva a cabo en las celdas electrolíticas en una solución de ácido sulfúrico. Se le aplica una corriente eléctrica, que hace que se disuelva el cobre del ánodo y se deposite en el cátodo inicial, lográndose cátodos de alta pureza.

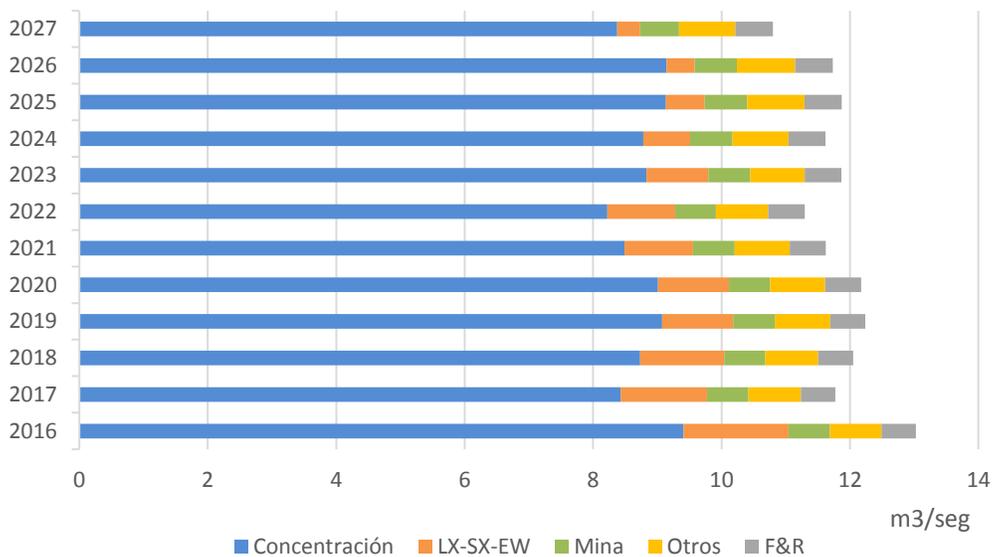
Finalmente el área otros o servicios, comprende aquellas actividades con volúmenes de consumo de agua poco significativos frente al total consumido en una operación minera. El principal uso del agua es para bebida, cocción, lavado, riego y baños en los campamentos, las plantas de molibdeno en operaciones que tengan, y otros consumos menores.

2.3.1 Consumo de agua continental según tipo de proceso

Según las estimaciones del último catastro de inversiones mineras, en los próximos 10 años, la matriz de productos de cobre cambiaría, Chile se volcaría cada vez más intensivo a la producción de concentrados.

De acuerdo a la proyección realizada, se estima que la producción esperada de cobre fino en cátodos SxEw disminuya en un 66,6% hacia el 2027 con respecto a la producción declarada en 2015, a una tasa de decrecimiento anual de un 8,1%. Por el contrario, se espera que la producción de cobre fino en concentrados aumente desde las 3.996 miles de toneladas de cobre fino en 2015 hasta las 5.279 miles de toneladas de cobre fino en concentrados en 2027, lo que significa un aumento de un 32,1% en el mismo periodo de tiempo, a una tasa de crecimiento promedio anual de 2,2%.

Figura 9: Consumo de agua continental según tipo de proceso en la minería del cobre



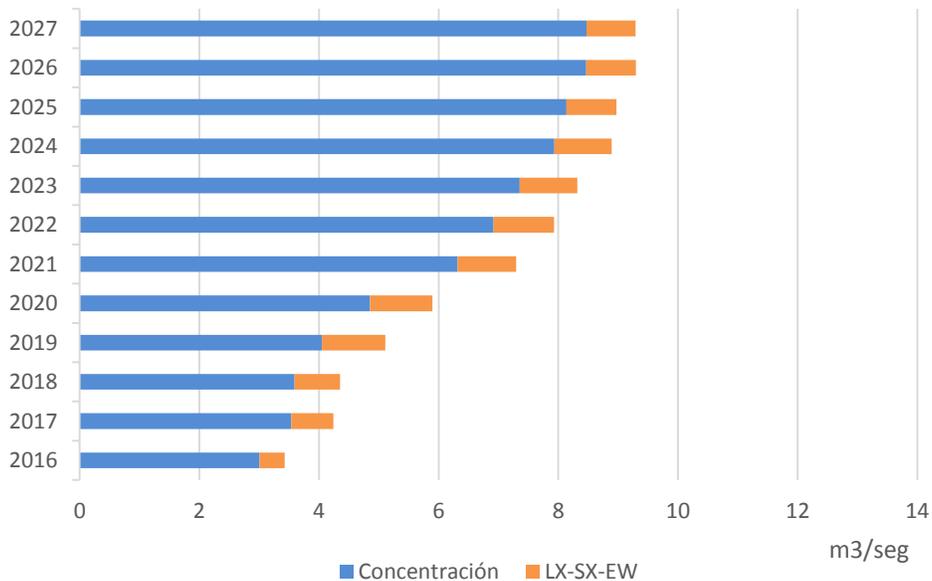
Al analizar la variación de la demanda de agua continental según el proceso de producción, vemos que los concentrados demandan gran parte del agua en la minería del cobre, debido tanto a la proyección de producción de concentrados por el natural agotamiento de los recursos oxidados y su reemplazo por los recursos sulfurados, como a lo intensivo en consumo de agua que es la concentradora.

Se espera que al 2027 el agua continental para el procesamiento de concentrados alcance el 78%, los cátodos el 3%, el agua en mina el 6%, la Fundición y Refinería el 5% y el ítem “otros” el 8%.

2.3.2 Consumo de agua de mar según tipo de proceso

En el caso de las proyecciones de agua de mar pasa algo similar, el mayor consumo es para el procesamiento de concentrados, ya que como se dijo anteriormente, es un proceso más intensivo en el uso del recurso, y se espera que en los próximos años aumente considerablemente su participación en la cartera de proyectos.

Figura 10: Consumo de agua de mar según tipo de proceso en la minería del cobre



Para el 2027, se espera que más de un 90% del agua proveniente de los océanos sea destinada al tratamiento de sulfuros para la producción de concentrados.



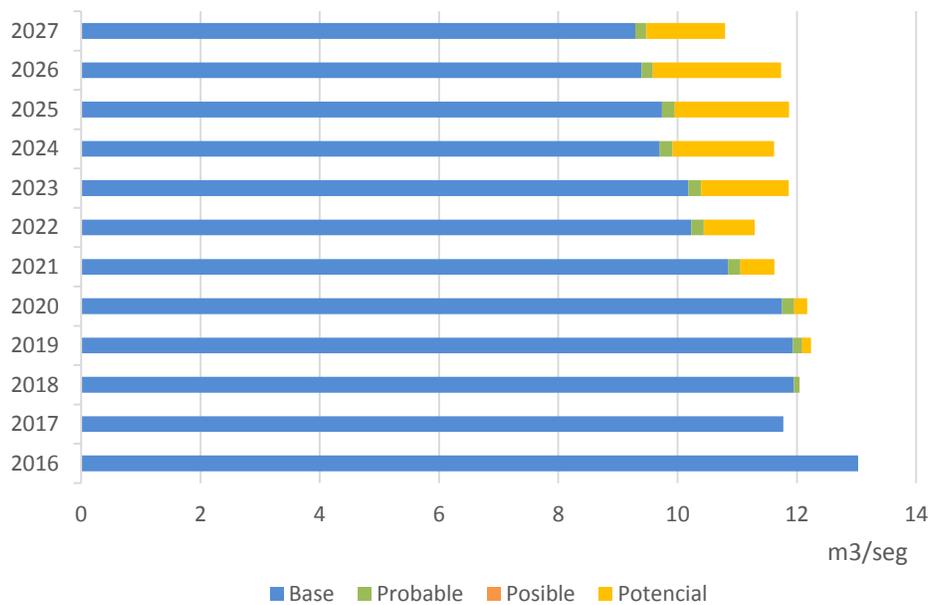
2.4 Consumo de agua según condición de proyectos

Se definen cuatro condiciones: base, probable, posible y potencial, asociado a los atributos específicos de tipo de proyecto, a la etapa de avance en que se encuentra, al estado de la tramitación ante el SEA y a la fecha estimada de puesta en marcha. Cada atributo tiene una gradualidad que puede asociarse a mayor o menor certeza y la combinación de ellos entrega una percepción de la condicionalidad en que se encuentra para su materialización.

2.4.1 Consumo de agua continental según condición de proyectos

En el caso del agua de origen continental el mayor consumo esperado para la próxima década proviene de proyectos en condición base, es decir proyectos en operación o en ejecución, es decir es un consumo esperado con un alto grado de certeza.

Figura 11: Consumo de agua continental según condición de proyectos en la minería del cobre



Se observa que al 2027 más del 85% del consumo de agua fresca en la minería del cobre está asociada a proyectos en condición base, mientras que el 15% restante tiene mayor incertidumbre.

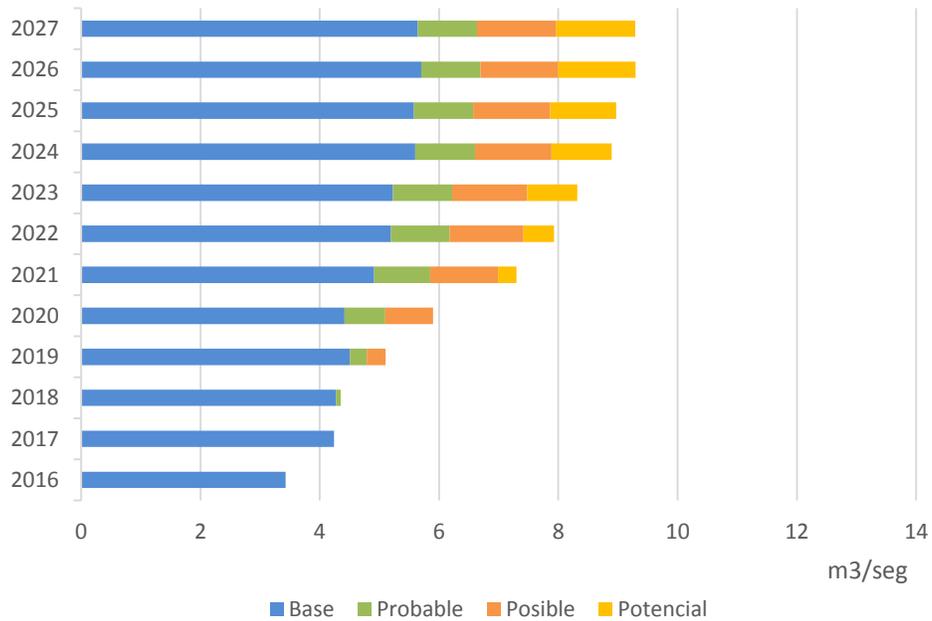
2.4.2 Consumo de agua de mar según condición de proyectos

Para el caso del agua de mar, la situación es distinta, ya que existe una mayor cantidad de proyectos nuevos o expansiones que darán inicio al uso de agua de mar, por lo tanto el nivel de certidumbre es menor, puesto que pueden presentar retrasos o cambios en el diseño, y la probabilidad de materialización en las fechas estimadas es menor.



La figura 11 muestra la proyección de consumo esperado de agua de mar de acuerdo a la condición de los proyectos.

Figura 12: Consumo de agua de mar según condición de proyectos en la minería del cobre



Se observa que al 2027, la participación de los proyectos base no varía significativamente, mientras que la proyección esperada a partir de proyectos probables, posibles y potencial si lo hacen.

Al 2027, se espera que un 40% del consumo de agua de mar este asociado a proyectos con menor grado de certidumbre, de los cuales, un 11% corresponde a proyectos probables, un 14% a proyectos posibles y un 14% a potenciales, estos últimos con un menor grado de certidumbre.



2.5 Consumo de agua según etapa de desarrollo

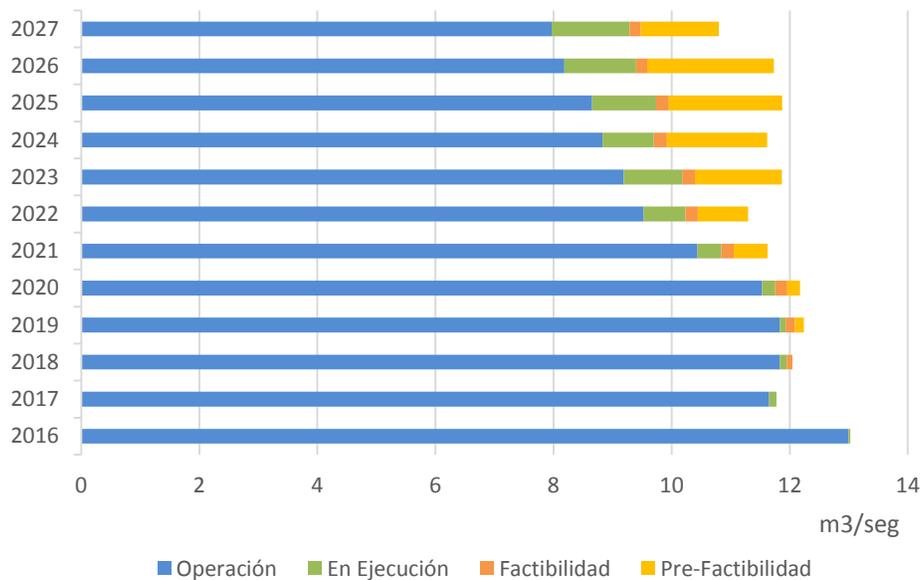
Para analizar la demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según el estado de avance de los proyectos en el catastro de inversiones, se definieron cuatro etapas de desarrollo; pre factibilidad, factibilidad, en ejecución y operación. El avance de un proyecto se puede ver afectado por algún tipo de suspensión sea por situaciones internas o externas a la voluntad de la compañía. Al estar suspendido el proyecto se detiene en su avance y en algunos casos debería volver al estado anterior para rehacer estudios y así resolver las interrogantes planteadas interna o externamente.

La prefactibilidad corresponde a la etapa de generación y selección de alternativas de proyectos, también conocida como ingeniería conceptual. La factibilidad corresponde a la etapa de desarrollo de la alternativa seleccionada o ingeniería básica. Los proyectos en ejecución son aquellos que se encuentran en construcción, montaje y puesta en marcha del nuevo activo, donde se busca capturar la promesa ofrecida privilegiando los aspectos plazo, costo, calidad y sustentabilidad. Finalmente las operaciones son las actualmente en producción.

2.5.1 Consumo de agua continental según etapa de desarrollo

Desde el punto de vista del consumo esperado de agua continental, de manera similar al punto anterior, gran parte del consumo proviene de operaciones y proyectos con mayor grado de certeza, como son aquellos en operación y en ejecución.

Figura 13: Consumo de agua continental según etapa de desarrollo en la minería del cobre

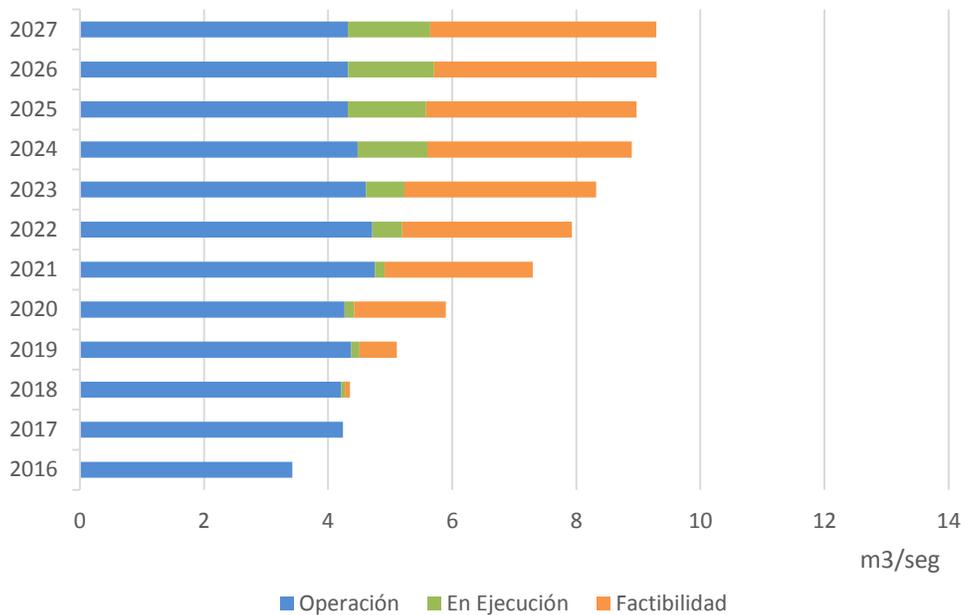


Los proyectos en operación pasarían de representar un 99,7% del consumo esperado de agua continental el 2016 a un 74% en el 2027, descenso explicado por el impacto de los proyectos en construcción que pasarían de un 0,3% al 2015 a un 12% al 2027. Los proyectos en menores etapas de ingeniería (factibilidad y pre-factibilidad) tendrían un consumo esperado de un 14% al 2027, tal como se indica en la figura 12.

2.5.2 Consumo de agua de mar según etapa de desarrollo

El comportamiento del consumo esperado de agua de mar según la etapa de desarrollo de las operaciones y proyectos se comporta de manera similar que según la condicionalidad de los proyectos, aunque la participación de los proyectos en ejecución es más significativa. En este caso, los proyectos que actualmente se encuentran en etapa de factibilidad de su ingeniería representarían cerca de un 40% del crecimiento al año 2027.

Figura 14: Consumo de agua de mar según etapa de desarrollo en la minería del cobre



Es posible estimar que a mayor grado de avance de un proyecto aumenta la certeza de su concreción. En consecuencia los proyectos en estado de operación y en ejecución, que representan en 60 % del consumo de agua de mar al 2027, tienen un mayor grado de certidumbre mientras que el 40 % restante corresponde a los proyectos en factibilidad sujetos a cambios en las decisiones operacionales.



2.6 Consumo de agua según estado de los permisos ambientales

Todos los proyectos deben contar con la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada, luego de un exhaustivo proceso técnico-administrativo que incluye participación ciudadana, al que se somete la declaración o el estudio de evaluación ambiental que corresponda.

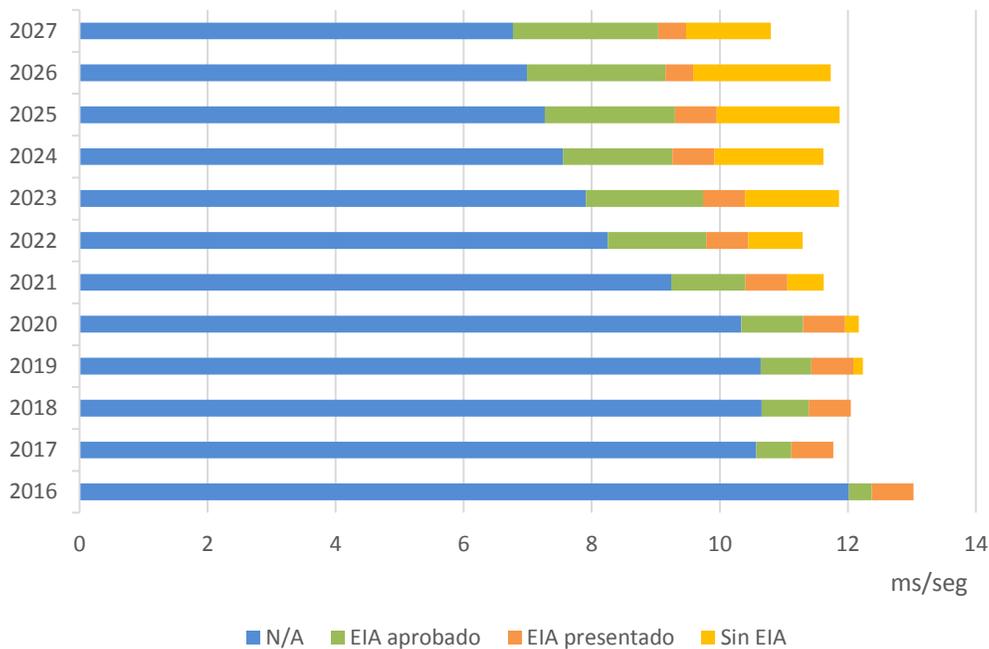
Por ello se distinguen tres estados de mayor a menor seguridad:

- EIA o DIA aprobada
- EIA o DIA presentado
- Sin EIA o DIA

2.6.1 Consumo de agua continental según estado de los permisos ambientales

La evolución del consumo esperado de agua continental 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 84% del consumo de agua de origen continental al 2027, mientras que el 16% restantes está asociado a proyectos que aún no han presentado o no tienen los permisos ambientales, lo que da menor grado de certeza al cumplimiento de las fechas estipuladas.

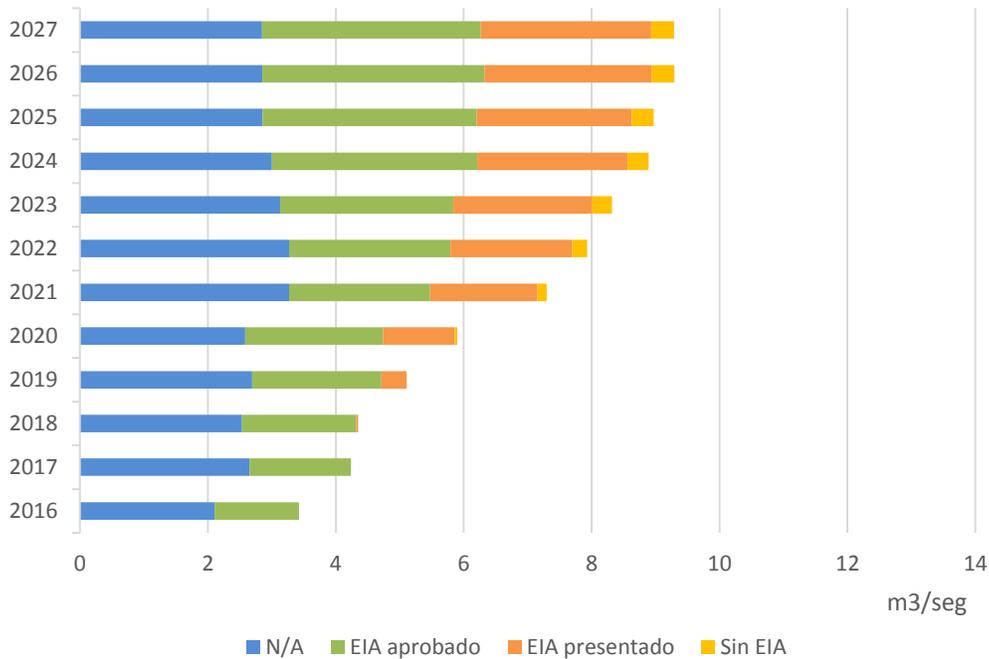
Figura 15: Consumo de agua continental según estado de los permisos ambientales en la minería del cobre



2.6.2 Consumo de agua de mar según estado de los permisos ambientales

Para el caso del consumo esperado de agua de mar, la situación es distinta. Al tener una base sólida de proyectos nuevos, la demanda futura de agua de mar se verá afectada en gran medida por el otorgamiento de los permisos ambientales y el marco regulatorio de este recurso.

Figura 16: Consumo de agua de mar según estado de los permisos ambientales en la minería del cobre



De acuerdo a la figura 15, en términos de permisos ambientales, se tiene que al 2027 un 67% del consumo esperado provendría de operaciones o proyectos con aprobación ambiental, y el 33% restante de proyectos sin permisos ambientales, compuesto por un 29% de proyectos ya ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y un 4% que aún no se han presentado.



Capítulo 3:

Análisis del comportamiento



Capítulo 3 Análisis del comportamiento del consumo de agua continental en la minería del cobre

Este capítulo tiene como objetivo realizar un análisis en el comportamiento del consumo esperado de agua al 2027 por parte del sector de la minería del cobre. En los últimos años la reducción de los consumos unitarios de agua ha resultado de múltiples fuentes; los ahorros obedecen a mayor reutilización y al control de pérdidas y consumo de agua en los procesos.

De acuerdo a esto se consideraron tres casos para evaluar el potencial. En primera instancia se desarrolla un análisis en el comportamiento de la demanda de agua continental, variando coeficientes en tres factores:

1. variando consumos unitarios de la gran minería que superan la tasa promedio;
2. aumentando la tasa de recirculación en plantas concentradoras en un 10%; y
3. reduciendo el coeficiente unitario para la obtención de cátodos en un 50%.

A partir de estas variaciones se puede determinar donde es más conveniente hacer gestión, sin desmerecer que cualquier disminución en el consumo de agua es muy valorado.

Se prevé que la demanda de agua en el sector minero continúe en los próximos años, si bien se espera un tendencia a la baja por el uso de agua de mar, de todas formas se espera que al 2027 la minería del cobre requeriría 10,8 m³/seg de aguas de origen continental, pasando por periodos en que este demanda superaría los 12 m³/seg. En este contexto, la diversificación hacia de nuevas fuentes de agua y la optimización del consumo mediante la introducción de mejores tecnologías representan el principal desafío del sector.

El análisis en estado estacionario consiste en perturbar cada parámetro del modelo en una cantidad determinada y proceder a la simulación del sistema. Esto permite determinar la importancia de cada parámetro sobre todas las variables de estado consideradas en el análisis.

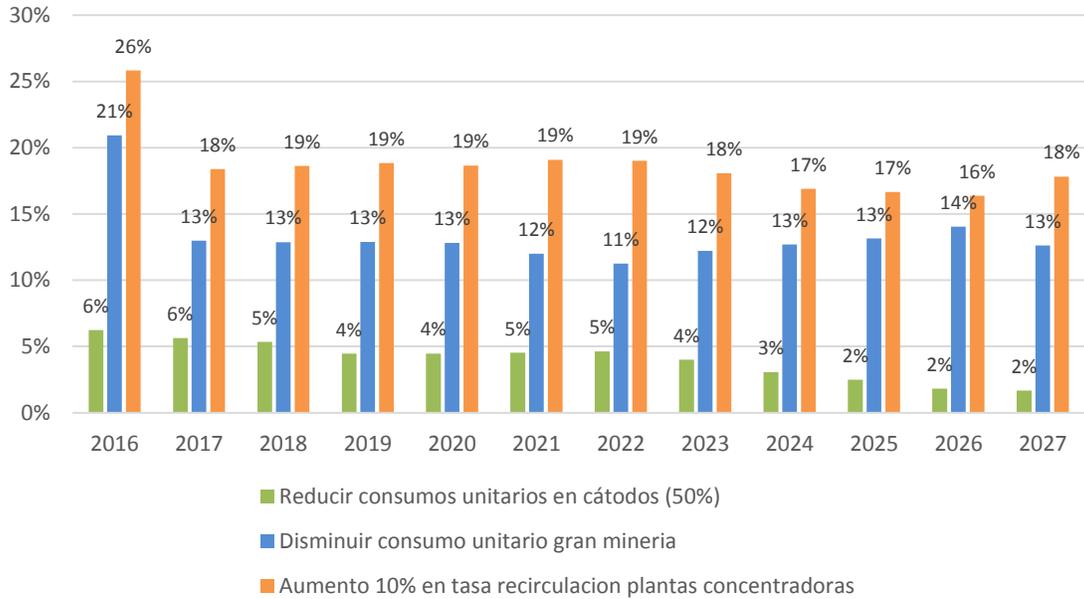
Como se indicó, el análisis de sensibilidad en la eficiencia consiste en tres áreas distintas, tanto en operaciones como proyectos:

- Disminución en coeficientes unitarios en plantas concentradoras, este caso plantea que las empresas de la gran minería que tienen tasas de consumo mayores alcancen el nivel promedio.
- Aumentar tasas de recirculación de aguas en plantas concentradoras en un 10%
- Disminución coeficientes unitarios en el procesamiento de minerales para la obtención de cátodos en un 50%.

Estas variaciones en los parámetros se aplican bajo el supuesto que se emplean a partir del 2016.



Figura 17: Porcentaje de reducción en el consumo de agua continental



Al evaluar los efectos de estos parámetros podemos analizar donde tiene mayor impacto estos cambios y así estudiar el efecto de aumentar la eficiencia mediante incentivos hacia tales objetivos.

En el caso de los minerales lixiviables, el proceso en si es menos intensivo en el uso de agua, por lo tanto las mejoras que se pueden lograr, no repercuten a nivel nacional en la misma medida que la gestión en plantas concentradoras, sin embargo a nivel local, toda contribución a la disminución del consumo del recurso es valiosa.

Se observan mejoras entre un 13 y un 18% al año 2027 por concepto de mejorar la eficiencia en plantas concentradoras, a través de la disminución en el coeficiente unitario, ya sea por mayores tasas de recirculación o mejoras tecnológicas y gestión de recursos respectivamente.

Se abre la puerta a generar incentivos a la disminución del consumo y de las pérdidas de agua y a la reutilización de las aguas. En la tabla 4 se muestran algunas de las principales pérdidas en los procesos mineros.

Tabla 4: Principales pérdidas de agua en procesos

Principales pérdidas de agua en el proceso de Concentración	Principales pérdidas de agua en el proceso de Hidrometalurgia
Filtraciones	Evaporaciones en las pilas de lixiviación
Evaporaciones en colas de los estanques de flotación y espesamiento	Evaporaciones en los estanques
Retenciones en materiales de las colas	Lavado de la fase orgánica
Pérdidas de infiltración en tranques	Descarte de soluciones
Pérdidas en transporte de concentrados y relaves	

Fuente: Elaboración Cochilco



Capítulo 4:

Comentarios finales



Capítulo 4 Comentarios finales

De manera general, la estimación de consumo total de agua de origen continental esperada al 2027 alcanza los 10,8 m³/s, lo que representa una caída de un 17% respecto al consumo esperado para el 2016. En contraste a esta disminución, la demanda de agua de mar aumenta en la medida que el consumo de agua continental disminuye, el agua de mar observa un crecimiento del 75% desde el 2015 hasta alcanzar los 9,3 m³/seg al 2027. Se espera que el agua de mar represente un 46% del agua requerida por la minería del cobre a nivel nacional al 2027.

Con respecto a la demanda futura por región, vemos que la minería absorbe un pequeño porcentaje del consumo consuntivo total del agua en el país, pero sus actividades muchas veces se ubican en las zonas más secas o en cuencas donde se encuentran las nacientes de las aguas. Ello indica que su incidencia regional y local es mucho mayor que la reflejada a escala nacional. Desde el punto de vista del agua continental, se observa una disminución en la participación de Antofagasta y lo contrario en el caso de Atacama, mientras que las otras regiones se mantienen estables. Al analizar el consumo de agua de mar al 2027 por región hay una fuerte participación de la región de Antofagasta (73%), seguido en menor medida por la región de Atacama (13%), luego Tarapacá (8%) y en menor proporción la región de Coquimbo (6%).

Con respecto a la demanda esperada por proceso, tenemos una situación en que se estima que la producción esperada de cobre fino en cátodos SxEw disminuya en un 66,6% hacia el 2027, por el contrario, se espera que la producción de cobre fino en concentrados aumente cerca de un 32% hacia el 2027. En este escenario se espera que al 2027 el agua continental para el procesamiento de concentrados alcance el 78%, los cátodos el 3%, el agua en mina el 6%, la Fundición y Refinería el 5% y el ítem "otros" el 8%. En el caso de agua de mar se espera que más de un 90% del agua proveniente de los océanos sea destinada al tratamiento de sulfuros para la producción de concentrados.

En lo que se refiere a la demanda de agua continental esperada según condición de los proyectos, el mayor consumo esperado para la próxima década proviene de proyectos en condición base (86%), es decir proyectos en operación o en ejecución, y por tanto con un alto grado de certeza. Para el caso del agua de mar, la situación es distinta, ya que existe una mayor cantidad de proyectos nuevos o expansiones que darán inicio al uso de agua de mar, por ende el nivel de certidumbre es menor puesto que pueden presentar retrasos o cambios en el diseño, y la probabilidad de materialización en las fechas estimadas es menor, al 2027 se espera que un 40% del consumo de agua de mar este asociado a proyectos con menor grado de certidumbre.

Con respecto a la etapa de desarrollo, los proyectos en operación representarían un 74% del consumo de agua continental en el 2027, en ejecución un 12%, mientras que los proyectos en menores etapas de ingeniería (factibilidad y pre-factibilidad) explicarían un 14% del consumo esperado al 2027. En el caso del agua de mar los proyectos en estado de operación y en ejecución representarán un 60 % del consumo al 2027, mientras que el 40 % restante corresponde a los proyectos en factibilidad sujetos a cambios en las decisiones operacionales.



Al analizar el comportamiento de la demanda esperada ante cambios y mejoras en los coeficientes unitarios, vemos que en el caso de los minerales lixiviables, el proceso en sí es menos intensivo en el uso de agua, por lo tanto las mejoras que se pueden lograr, no repercuten a nivel nacional en la misma medida que la gestión en plantas concentradoras, sin embargo a nivel local, toda contribución a la disminución del consumo del recurso es siempre valorable.

Por otro lado el rol que puede cumplir el abastecimiento de agua a las comunidades puede ser una clave para el desarrollo sostenible de la actividad, no obstante al analizar el uso de agua de mar se observa que falta establecer un marco legal definido y claro para su uso. Las demandas futuras requerirían un mayor grado de coordinación y definición sobre el uso del territorio, y así establecer puntos clave para desarrollar plantas que puedan abastecer a más de un proyecto y más de un sector productivo, e incluso a la comunidad, aprovechando las economías de escala, manteniendo e incluso mejorando la seguridad del suministro de las operaciones mineras



Anexos



Anexos

Anexo 1 Condiciones de materialización de un proyecto

Condición	Tipo proyecto	Etapas de avance	Trámite SEA	Puesta en marcha
BASE	Cualquiera	Ejecución	RCA aprobada	En el período
PROBABLE	Cualquiera	Ejecución suspendida	RCA aprobada o en reclamación judicial	En el período
	Cualquiera	Factibilidad	RCA aprobada	En el período
	Reposición o Expansión	Factibilidad	EIA o DIA en trámite	En el período
POSIBLE	Reposición o Expansión	Factibilidad suspendida	EIA o DIA en trámite	En el período
	Reposición o Expansión	Factibilidad	EIA o DIA no presentada	En el período
	Nuevo	Factibilidad	EIA o DIA en trámite o no presentada	En el período
	Cualquiera	Factibilidad	RCA aprobada	Fuera del período
	Reposición o Expansión	Factibilidad	EIA o DIA en trámite o no presentada	Fuera del período
POTENCIAL	Cualquiera	Factibilidad suspendida	Cualquiera	Fuera del período
	Cualquiera	Prefactibilidad	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 2 Etapas de desarrollo de un proyecto

- **Operación:** Proyectos que se encuentran actualmente operando
- **En ejecución:** Cuentan con la aprobación de la inversión y de los permisos correspondientes para su desarrollo. Ya se encuentran en alguna de las fases de ingeniería de detalle y de construcción hasta el inicio de la puesta en marcha.
- **En estudio de factibilidad:** Aquellos que ya han iniciado los estudios de factibilidad y de evaluación ambiental (EIA o DIA) hasta que los hayan terminado, pero sin haber tomado aún la decisión final aprobatoria de la inversión.
- **En estudio de prefactibilidad:** Aquellos que se encuentran en la fase inicial de estudios de prefactibilidad hasta que se tome la decisión de continuar a la etapa siguiente.

Fuente: Elaboración Cochilco



Anexo 3 Categorías según tipo de proyecto minero

- Proyectos de reposición: Son aquellos donde la inversión procura mantener la capacidad productiva de una operación actual (*brownfield*) con nuevos desarrollos mineros, para enfrentar la caída de leyes y/o agotamiento de sectores en explotación. Ello permite prolongar la vida útil del yacimiento y el uso de sus instalaciones.
- Proyectos de expansión: Son aquellos donde se busca ampliar la capacidad operacional actual (*brownfield*), a fin de aumentar su escala de producción y disminuir sus costos unitarios, especialmente por la caída de ley de sus recursos mineros a explotar.
- Proyectos nuevos: Son aquellos que parten de cero (*greenfield*), teniendo que realizar todo: el proceso de permisos ambientales y sectoriales, desarrollar infraestructura y asentarse en una localización. También se incluyen los proyectos en las operaciones actuales (*brownfield*), pero que contemplan un cambio total en el proceso productivo (Por ej.: de la lixiviación a la concentración), lo que implica prácticamente el desarrollo de un nuevo yacimiento.

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 4 Tabla consumo esperado total

lts/seg	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Consumo total	16.454	16.012	16.401	17.344	18.070	18.920	19.222	20.183	20.510	20.840	21.028	20.089

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 5 Tabla consumo esperado según fuente de origen

lts/seg	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Agua Continental	13.028	11.773	12.048	12.238	12.172	11.623	11.294	11.865	11.617	11.871	11.733	10.798
Agua de Mar	3.426	4.239	4.353	5.106	5.898	7.297	7.928	8.318	8.893	8.970	9.295	9.291

Fuente: Elaboración Cochilco



Anexo 6 Tabla consumo esperado por región

lts/seg	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Arica y Parinacota	8,0	12,7	12,7	11,6	11,6	11,6	10,7	10,7	10,7	10,1	5,6	0,0
Agua Continental	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Agua de Mar	8,0	12,7	12,7	11,6	11,6	11,6	10,7	10,7	10,7	10,1	5,6	0,0
Tarapacá	1.198,9	1.202,4	1.277,4	1.368,4	1.411,1	1.647,5	1.798,6	2.055,6	2.097,7	2.092,1	2.045,6	2.051,7
Agua Continental	1.198,9	1.202,4	1.277,4	1.368,4	1.411,1	1.422,6	1.434,4	1.437,8	1.434,9	1.419,6	1.298,3	1.298,3
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	224,9	364,1	617,8	662,8	672,5	747,3	753,5
Antofagasta	7.619,9	7.017,7	7.043,9	7.421,1	7.539,9	7.947,6	7.935,7	8.080,2	8.077,8	8.049,6	8.250,8	8.136,3
Agua Continental	4.707,4	3.198,3	3.176,4	2.961,6	2.885,1	2.322,1	1.928,7	2.030,7	1.530,2	1.459,9	1.418,2	1.326,7
Agua de Mar	2.912,5	3.819,4	3.867,4	4.459,5	4.654,8	5.625,5	6.007,0	6.049,5	6.547,7	6.589,6	6.832,6	6.809,6
Atacama	2.125,4	2.232,4	2.382,8	2.724,7	3.079,7	3.120,7	3.176,7	3.381,0	3.506,8	3.738,1	3.810,4	3.878,8
Agua Continental	1.620,3	1.825,8	1.944,0	2.147,6	2.167,7	2.149,1	2.141,5	2.261,4	2.364,1	2.578,2	2.640,5	2.699,1
Agua de Mar	505,1	406,6	438,8	577,1	912,0	971,6	1.035,2	1.119,5	1.142,7	1.159,9	1.169,9	1.179,7
Coquimbo	1.067,7	1.061,9	1.141,5	1.252,0	1.510,7	1.694,9	1.743,2	1.744,4	1.771,1	1.780,2	1.766,2	1.782,5
Agua Continental	1.067,7	1.061,9	1.107,4	1.194,0	1.191,4	1.231,0	1.232,3	1.223,4	1.241,9	1.242,5	1.227,0	1.234,1
Agua de Mar	0,0	0,0	34,2	58,0	319,2	463,8	510,9	521,0	529,2	537,6	539,2	548,4
Valparaíso	1.355,7	1.320,3	1.328,2	1.350,6	1.339,3	1.307,1	1.312,7	1.771,0	1.936,8	2.040,0	2.184,2	1.297,2
Agua Continental	1.355,7	1.320,3	1.328,2	1.350,6	1.339,3	1.307,1	1.312,7	1.771,0	1.936,8	2.040,0	2.184,2	1.297,2
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Metropolitana	784,1	835,2	859,5	873,9	873,1	872,3	881,7	880,9	880,2	879,4	878,7	878,0
Agua Continental	784,1	835,2	859,5	873,9	873,1	872,3	881,7	880,9	880,2	879,4	878,7	878,0
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
O'Higgins	2.227,8	2.260,8	2.286,5	2.271,6	2.234,0	2.245,6	2.289,8	2.184,5	2.153,8	2.173,5	2.009,0	1.984,3
Agua Continental	2.227,8	2.260,8	2.286,5	2.271,6	2.234,0	2.245,6	2.289,8	2.184,5	2.153,8	2.173,5	2.009,0	1.984,3
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
No determinada	66,1	68,2	68,2	70,4	70,4	72,7	72,7	75,0	75,0	77,5	77,5	80,0
Agua Continental	66,1	68,2	68,2	70,4	70,4	72,7	72,7	75,0	75,0	77,5	77,5	80,0
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 7 Tabla consumo esperado según tipo de proceso

lts/seg	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Concentración	12.412	11.968	12.325	13.124	13.862	14.805	15.141	16.180	16.717	17.268	17.609	16.843
Agua Continental	9.407,8	8.427,9	8.733,4	9.075,7	9.011,5	8.487,2	8.221,7	8.828,9	8.783,3	9.134,2	9.143,6	8.372,7
Agua de Mar	3.003,9	3.540,1	3.591,2	4.047,8	4.850,2	6.318,1	6.919,3	7.351,1	7.933,3	8.133,9	8.465,5	8.470,4
LX-SX-EW	2.057,8	2.044,8	2.069,7	2.164,8	2.150,0	2.046,1	2.065,7	1.932,3	1.688,3	1.437,9	1.263,5	1.181,3
Agua Continental	1.636,2	1.346,2	1.307,9	1.106,5	1.102,7	1.066,8	1.057,2	965,0	728,6	602,0	434,3	360,5
Agua de Mar	421,6	698,6	761,8	1.058,3	1.047,4	979,3	1.008,5	967,4	959,7	835,9	829,2	820,8
Mina	645,4	643,1	641,5	649,6	642,4	652,9	632,2	652,0	656,6	660,0	660,4	606,0
Agua Continental	645,4	643,1	641,5	649,6	642,4	652,9	632,2	652,0	656,6	660,0	660,4	606,0
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros	802,1	818,5	823,1	858,4	856,2	853,9	814,6	847,3	873,4	895,7	907,5	875,1
Agua Continental	802,1	818,5	823,1	858,4	856,2	853,9	814,6	847,3	873,4	895,7	907,5	875,1
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F&R	536,5	537,3	541,6	547,9	559,5	561,7	568,2	571,7	575,0	578,7	587,5	583,3
Agua Continental	536,5	537,3	541,6	547,9	559,5	561,7	568,2	571,7	575,0	578,7	587,5	583,3
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 8 Tabla consumo esperado según condición

lts/seg	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Base	16.454	16.012	16.224	16.436	16.170	15.755	15.426	15.409	15.300	15.319	15.104	14.934
Agua Continental	13.028	11.773	11.951	11.931	11.752	10.845	10.231	10.181	9.701	9.737	9.399	9.290
Agua de Mar	3.425,6	4.238,7	4.272,6	4.505,9	4.418,1	4.910,5	5.195,0	5.228,6	5.598,8	5.581,5	5.705,0	5.643,9
Probable	0,0	0,0	177,1	440,7	883,1	1.145,7	1.189,1	1.201,2	1.217,7	1.202,8	1.172,8	1.178,0
Agua Continental	0,0	0,0	96,6	155,0	201,0	206,4	208,0	210,7	214,1	214,2	184,3	183,8
Agua de Mar	0,0	0,0	80,5	285,7	682,1	939,4	981,0	990,5	1.003,7	988,6	988,5	994,3
Posible	0,0	0,0	0,0	317,1	800,6	1.143,6	1.244,3	1.264,3	1.287,6	1.296,6	1.309,3	1.332,5
Agua Continental	0,0	0,0	0,0	2,4	3,2	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4	3,4	3,5
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	314,6	797,3	1.140,2	1.240,9	1.260,9	1.284,2	1.293,2	1.305,9	1.329,0
Potencial	0,0	0,0	0,0	150,1	215,7	875,2	1.361,8	2.308,3	2.704,4	3.022,1	3.441,6	2.644,3
Agua Continental	0,0	0,0	0,0	150,1	215,7	567,9	850,9	1.469,8	1.698,2	1.915,6	2.146,3	1.320,4
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	307,3	510,8	838,5	1.006,3	1.106,5	1.295,3	1.323,9

Fuente: Elaboración Cochilco



Anexo 9 Tabla consumo esperado según etapa de desarrollo

lts/seg	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Operación	16.419	15.890	16.040	16.211	15.796	15.189	14.238	13.793	13.307	12.971	12.506	12.283
Agua Continental	12.994	11.652	11.833	11.836	11.530	10.437	9.526	9.185	8.829	8.652	8.182	7.965
Agua de Mar	3.425,6	4.238,7	4.207,0	4.375,1	4.265,4	4.752,5	4.712,7	4.607,8	4.478,1	4.318,6	4.323,7	4.317,3
En Ejecución	34	121	183	226	375	566	1.188	1.617	1.993	2.348	2.598	2.651
Agua Continental	34	121	118	95	222	408	706	996	872	1.085	1.217	1.325
Agua de Mar	0,0	0,0	65,5	130,8	152,7	158,0	482,4	620,8	1.120,7	1.262,9	1.381,2	1.326,6
Factibilidad	0,0	0,0	177,1	757,7	1.683,7	2.596,6	2.944,2	3.304,0	3.511,6	3.606,0	3.777,4	3.834,5
Agua Continental	0,0	0,0	96,6	157,4	204,2	209,8	211,4	214,1	217,5	217,6	187,7	187,2
Agua de Mar	0,0	0,0	80,5	600,3	1.479,4	2.386,8	2.732,8	3.089,9	3.294,1	3.388,3	3.589,7	3.647,2
Pre Factibilidad	0,0	0,0	0,0	150,1	215,7	567,9	850,9	1.469,8	1.698,2	1.915,6	2.146,3	1.320,4
Agua Continental	0,0	0,0	0,0	150,1	215,7	567,9	850,9	1.469,8	1.698,2	1.915,6	2.146,3	1.320,4
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración Cochilco

Anexo 10 Tabla consumo esperado según estado de los permisos ambientales

lts/seg	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Operando con permisos	14.125	13.221	13.184	13.330	12.919	12.510	11.518	11.041	10.553	10.125	9.836,5	9.616,5
Agua Continental	12.018	10.569	10.652	10.638	10.334	9.240,7	8.249,1	7.909,3	7.551,1	7.268,2	6.985,6	6.768,1
Agua de Mar	2.107,1	2.652,3	2.531,9	2.691,6	2.584,6	3.269,6	3.268,7	3.131,8	3.002,2	2.856,7	2.850,9	2.848,4
EIA presentado	655	655	690	1.046	1.778	2.334	2.555	2.824	3.005	3.081	3.049	3.097
Agua Continental	655	655	656	656	656	655	656	656	656	656	438	437
Agua de Mar	0,0	0,0	34,2	390,2	1.122,0	1.678,4	1.898,9	2.168,8	2.349,4	2.425,3	2.611,2	2.659,6
EIA aprobado	1.674	2.136	2.526	2.818	3.120	3.364	4.066	4.537	4.924	5.377	5.639	5.693
Agua Continental	355	549	739	794	966	1.159	1.538	1.830	1.712	2.031	2.164	2.272
Agua de Mar	1.318,5	1.586,4	1.787,0	2.024,4	2.153,9	2.205,5	2.527,9	2.706,8	3.212,5	3.345,5	3.474,8	3.421,4
Sin EIA	0,0	0,0	0,0	150,1	252,7	711,8	1.083,2	1.780,9	2.027,0	2.257,9	2.504,1	1.682,2
Agua Continental	0,0	0,0	0,0	150,1	215,7	567,9	850,9	1.469,8	1.698,2	1.915,6	2.146,3	1.320,4
Agua de Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	143,9	232,3	311,0	328,9	342,3	357,8	361,8

Fuente: Elaboración Cochilco



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

Camila Montes

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre / 2016

