



COMISIÓN CHILENA DEL COBRE
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS

Proyección de demanda de agua fresca en la minería del cobre, 2013-2021

(DE/23/2013)

Registro de Propiedad Intelectual

© N

RESUMEN EJECUTIVO

Dada la baja disponibilidad de agua en las regiones del norte y al aumento en el desarrollo de nuevos proyectos mineros es necesario estimar la cantidad de agua que la industria del cobre requerirá al 2021 para materializar dichos proyectos. La gestión y utilización del recurso hídrico es fundamental para continuar con la actividad minera y proyectar su desarrollo de manera eficiente y responsable a futuro.

Este estudio busca calcular la proyección de demanda de agua fresca 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 este modo se podrá determinar con anticipación medidas y acciones que contribuyan al desarrollo de los proyectos mineros de manera sustentable.

A través de este estudio se estima que la demanda esperada al 2021 de agua fresca por parte de la minería del cobre alcanzaría los 18 m³/seg, en el caso de que los proyectos de desalinización e impulsión de agua de mar asociados a los nuevos proyectos se realicen. Dicha demanda representa un aumento de 38% respecto a 2013 que alcanzaría a 13 m³/seg en base a la capacidad máxima de producción. Este aumento se debe principalmente al mayor mineral procesado en la concentradora por la tendencia decreciente en las leyes del mineral a extraer. Por su parte, el abastecimiento estimado de nuevos proyectos con agua de origen marino es de 5,4 m³/seg de agua de mar, los cuales significarían una disminución del 23,9% del total de agua fresca demandado si no se utilizara dicho recurso.

Al analizar la demanda de agua fresca en la minería del cobre según tipo de proyecto se observa que al 2021, un alto porcentaje corresponde a proyectos nuevos. Esto conlleva mayores posibilidades para los “oferentes de agua”, ya que al ser proyectos nuevos pueden ajustarse a nuevas técnicas, distintas calidades de agua, proyectos de traspaso de cuencas, entre otras alternativas.

En el caso del uso de agua de origen marino, se proyecta un considerable aumento en demanda de agua de mar al 2021, en su mayoría como fuente de abastecimiento en proyectos nuevos. El uso de agua de mar refleja el enorme esfuerzo que realizan las compañías mineras por disminuir el consumo de agua fresca y así reducir el estrés hídrico de la zona norte.

CONTENIDO

Resumen Ejecutivo.....	1
1. Introducción.....	5
2. Objetivos y Alcances.....	7
3. Metodología.....	8
3.1 <i>Coefficientes unitarios</i>	11
3.2 <i>Cartera de proyectos mineros y de plantas de agua de mar</i>	12
3.2.1 Proyección de producción de cobre	12
3.2.2 Proyectos de agua de mar.....	13
3.3 <i>Supuestos</i>	15
3.4 <i>Generación de escenarios</i>	16
3.5 <i>Simulación de Montecarlo</i>	18
4. Proyección demanda máxima de agua fresca en la minería del cobre.....	20
4.1 <i>Proyección demanda máxima – País</i>	20
4.1.1 Proyección demanda máxima – Total	20
4.1.2 Proyección demanda máxima – por región	21
4.1.3 Proyección demanda máxima – por proceso	22
5. Proyección demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre.....	23
5.1 <i>Proyección demanda esperada – Total</i>	24
5.2 <i>Proyección demanda esperada – por proceso</i>	25
5.3 <i>Proyección demanda esperada – según estado de avance</i>	26
5.4 <i>Proyección demanda esperada – según condición</i>	27
5.5 <i>Proyección demanda esperada – según escala de producción</i>	28
5.6 <i>Proyección demanda esperada – según tipo de proyecto</i>	29
5.7 <i>Proyección demanda esperada – por región</i>	30
6. Proyección de abastecimiento de agua de mar para nuevos proyectos 2013-2021.....	31
6.1 <i>Proyección demanda esperada agua de mar – Total</i>	33
6.2 <i>Proyección demanda esperada agua de mar – según tipo de proyecto</i>	34
6.3 <i>Proyección demanda esperada agua de mar – por región</i>	35
7. Comentarios Finales.....	36
8. Anexos.....	38
8.1 Proyección demanda máxima – Total (m ³ /seg).....	38

8.2	Proyección demanda máxima – Por región (m ³ /seg).....	38
8.3	Proyección demanda máxima – Por proceso (m ³ /seg).....	38
8.4	Proyección demanda máxima – según estado de avance (m ³ /seg).....	38
8.5	Proyección demanda máxima – según condición (m ³ /seg).....	39
8.6	Proyección demanda máxima – según escala de producción (m ³ /seg).....	39
8.7	Proyección demanda máxima – según tipo de proyecto (m ³ /seg).....	39
8.8	Estimación de escenarios para la demanda esperada (m ³ /seg).....	40
8.8.1	Caso pesimista.....	40
8.8.2	Caso optimista.....	40
8.9	Proyección demanda Esperada – Total (m ³ /seg).....	40
8.9.1	Caso pesimista.....	40
8.9.2	Caso optimista.....	40
8.10	Proyección demanda Esperada – por proceso (m ³ /seg).....	41
8.10.1	caso pesimista.....	41
8.10.2	caso optimista.....	41
8.11	Proyección demanda Esperada – según estado de avance (m ³ /seg).....	41
8.11.1	caso pesimista.....	41
8.11.2	caso optimista.....	41
8.12	Proyección demanda Esperada – según condición (m ³ /seg).....	42
8.12.1	caso pesimista.....	42
8.12.2	caso optimista.....	42
8.13	Proyección demanda Esperada – según escala de producción (m ³ /seg).....	42
8.13.1	caso pesimista.....	42
8.13.2	caso optimista.....	42
8.14	Proyección demanda Esperada – según tipo de proyecto (m ³ /seg).....	43
8.14.1	caso pesimista.....	43
8.14.2	caso optimista.....	43
8.15	Proyección demanda Esperada, regional (m ³ /seg).....	43
8.15.1	caso pesimista.....	43
8.15.2	caso optimista.....	44
8.16	Estimación de escenarios para la demanda esperada de agua de mar (m ³ /seg)....	44
8.17	Proyección demanda Esperada de agua de mar, total (m ³ /seg).....	44

8.18	Proyección demanda Esperada de agua de mar - según tipo de proyecto (m ³ /seg)	44
8.19	Proyección demanda Esperada de agua de mar – por región (m ³ /seg)	45

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente el agua ha sido un recurso escaso y a la vez fundamental para el desarrollo, tanto de las personas como de las actividades, en el plano doméstico y 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, para establecer su debida extracción y uso en toda nación de manera sustentable. Si bien se han hecho esfuerzos por controlar la disponibilidad del recurso, la situación no ha variado sustancialmente y toda política responsable de sustentabilidad y desarrollo considera el agua como un elemento esencial para la existencia y desarrollo del ser humano.

En el caso de Chile el problema ha llegado a niveles delicados en gran parte de la zona norte de nuestro país, donde se encuentra el desierto más árido del planeta, pero a la vez, el más rico en recursos minerales, que inevitablemente necesitan de agua para la aplicación de los procesos que permiten su explotación. El surgimiento de la minería como una de las principales actividades productivas de Chile, ha desencadenado un creciente y sostenido desarrollo económico y social en la zona norte del país, donde ciudades como Antofagasta, Calama y Copiapó han visto incrementar su densidad demográfica conforme a la implementación de grandes proyectos mineros. Sin embargo esta actividad fundamental para nuestro país se ha encontrado con un escenario adverso en donde no se ha logrado garantizar el suministro del recurso hídrico para su desarrollo.

A pesar de la creciente incorporación e implementación de nuevas tecnologías - tanto en energía como en agua - y su aporte a mejorar la eficiencia en el uso de estos recursos, la actividad minera debe seguir investigando y proponiendo nuevas técnicas para su desarrollo sustentable. En esta búsqueda por nuevos sistemas ya existen empresas mineras innovadoras que han estado utilizando agua desalada o agua directamente de mar en sus procesos. También se ha comenzado a aplicar tecnologías que ahorran agua en los procesos mismos, tales como membranas especiales, relaves espesados y nuevas técnicas de reciclaje del agua, entre otras, lo que ha reducido de forma importante el consumo de agua fresca en las operaciones mineras. Durante los últimos años estas estrategias han dado resultado, aumentando la eficiencia en el uso del recurso hídrico por parte de las grandes faenas mineras, asunto que aún puede y debe seguir intensificándose, para evitar que la escasez del recurso hídrico pueda inhibir el desarrollo de nuevos proyectos.

Si bien la minería viene generando aprendizajes y desarrollando un conjunto de buenas prácticas en el uso del recurso hídrico, disminuyendo su consumo en los últimos tres años, la escasez del agua genera conflictos de interés entre los distintos sectores y usuarios. Es por ello que la proyección de la demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre resulta fundamental a la hora de establecer políticas públicas por el Estado, pero también entrega una guía para las empresas mineras. Esto implica plantearse metas de disminución progresiva del consumo de agua fresca, teniendo en cuenta las necesidades operativas, mejorando procesos de flotación y gestión de los relaves, mitigando filtraciones y evaporaciones y utilizando métodos, de acuerdo a cada mineral que posibilite la mayor recirculación de los volúmenes de agua sin afectar negativamente al ecosistema.

En el contexto anterior, se pone en evidencia la necesidad de incorporar conocimiento íntegro del ciclo hidrológico de las distintas cuencas para evaluar mejor los recursos hídricos a fin de tener una mayor certeza en la toma de decisiones y de tal modo avanzar hacia un compromiso sustentable con los recursos hídricos en Chile.

El uso y manejo del recurso hídrico en la zona norte del país se ha posicionado como un elemento primordial en la tarea de continuar con la actividad minera y proyectar su desarrollo de manera eficiente y responsable a futuro. Este trabajo se encuadra en la incertidumbre de la disponibilidad de agua y el desarrollo de la minería como una de las actividades industriales más importantes en Chile.

En atención a la escasez de agua en las regiones del norte y al aumento en el desarrollo de nuevos proyectos, resulta interesante estimar la cantidad de agua que la industria de la minería del cobre requerirá al 2021 para lograr el desarrollo de los proyectos, y de este modo, determinar con anticipación medidas y acciones que contribuyan a este propósito.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES

El objeto del estudio es estimar la proyección de demanda de agua fresca 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, así como cualquier otra observación u opinión relacionada con el análisis hídrico que se hace para la minería.

Se entiende por agua fresca aquellas extracciones provenientes de aguas superficiales como aguas lluvias, escorrentías, embalses superficiales, lagos y ríos y aguas subterráneas, como las aguas alumbradas y acuíferos, para las cuales se cuenta con los respectivos derechos de aguas y aguas adquiridas a terceros. El agua fresca cubre las pérdidas producidas a través de los procesos.

El estudio está orientado a contribuir y aportar, desde una óptica técnica e independiente, con un antecedente útil para las decisiones de las empresas consumidoras de agua, y de las autoridades públicas sectoriales, así como 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.

El estudio de la proyección de demanda de agua fresca en la minería del cobre cubre la situación actual, y una estimación de la situación futura al 2021. La demanda actual ha sido calculada al año 2012, de acuerdo a los datos obtenidos por la encuesta realizada cada año por COCHILCO directamente a las empresas¹. La demanda futura corresponde a proyecciones al 2021 calculadas mediante simulaciones de escenarios futuros, lo que se explica en la sección Metodología.

El alcance físico del estudio comprende las regiones centro-norte del país, desde la I Región de Tarapacá hasta la VI Región de O'Higgins, donde se ubica la mayor cantidad de operaciones mineras del cobre. El alcance temporal de las proyecciones se focaliza en el periodo 2013-2021, para el cual se formularán los escenarios de consumo de agua para las operaciones vigentes y proyectos mineros.

¹ Para más detalles ver estudio de "Actualización de la información sobre el consumo de agua en la minería del cobre al año 2012" elaborado por COCHILCO.

3. METODOLOGÍA

La cuantificación de las demandas actuales asociadas a la actividad minera se ha generado a partir de los datos obtenidos directamente de las empresas mineras para el año 2012, a través de la encuesta realizada anualmente por COCHILCO.

Con la información del 2012 se obtienen los coeficientes unitarios de consumo de agua fresca por tonelada de mineral tratado para el caso de los concentrados y el consumo de agua fresca por tonelada de cobre fino en el caso de los cátodos y otros, en los que se incluyen los servicios auxiliares, campamentos, agua potable, agua en la mina, etc. para cada empresa.

Por otra parte se cuenta con el catastro de proyectos que elabora COCHILCO año a año con la información actualizada de las operaciones y nuevos proyectos al 2021, con lo que se estima la proyección de producción, tanto en concentrados como en cátodos. 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.

La demanda de agua en la minería del cobre se subdivide en cinco sectores, de acuerdo al diagrama que se observa a continuación.²

Figura 1: Sectores de demanda de agua en la minería del cobre



² El concepto “otros” corresponde al agua utilizada en otros procesos en la minería, ya sea en la mina, para la supresión de polvo en los caminos, para los campamentos, el regadío, los servicios, agua potable, etc.

Para calcular la cantidad de agua fresca necesaria por cada operación/proyecto se utilizan las siguientes ecuaciones:

- Demanda de agua fresca para la obtención de concentrados

$$Dda\ agua\ Conc. \left(\frac{m^3}{seg} \right) = Min. Tratado\ Concentradora \left(\frac{ton_{min}}{dia} \right) * Coef. Unitario\ Conc. \left(\frac{m^3}{ton_{min}} \right) * f_d$$

- Demanda de agua fresca para la obtención de cátodos SX-EW

$$Dda\ agua\ Cátodos. \left(\frac{m^3}{seg} \right) = Cobre\ fino\ cátodos \left(\frac{ton_{fino}}{año} \right) * Coef. Unitario\ Cátodos \left(\frac{m^3}{ton_{fino}} \right) * f_a$$

- Demanda de agua fresca para "Otros"

$$Dda\ agua\ Otros. \left(\frac{m^3}{seg} \right) = Cobre\ fino\ total \left(\frac{ton_{fino}}{año} \right) * Coef. Unitario\ Otros \left(\frac{m^3}{ton_{fino}} \right) * f_a$$

- Demanda de agua fresca para la fundición

$$Dda\ agua\ Fund. \left(\frac{m^3}{seg} \right) = Cobre\ fino\ total \left(\frac{ton_{fino}}{año} \right) * Coef. Unitario\ Fund \left(\frac{m^3}{ton_{fino}} \right) * f_a$$

- Demanda de agua fresca para la refinería

$$Dda\ agua\ Ref. \left(\frac{m^3}{seg} \right) = Cobre\ fino\ total \left(\frac{ton_{fino}}{año} \right) * Coef. Unitario\ Ref \left(\frac{m^3}{ton_{fino}} \right) * f_a$$

Donde:

f_d : Factor de conversión día a segundos = $1,157 * 10^{-05}$

f_a : Factor de conversión año a segundos = $3,1709 * 10^{-08}$

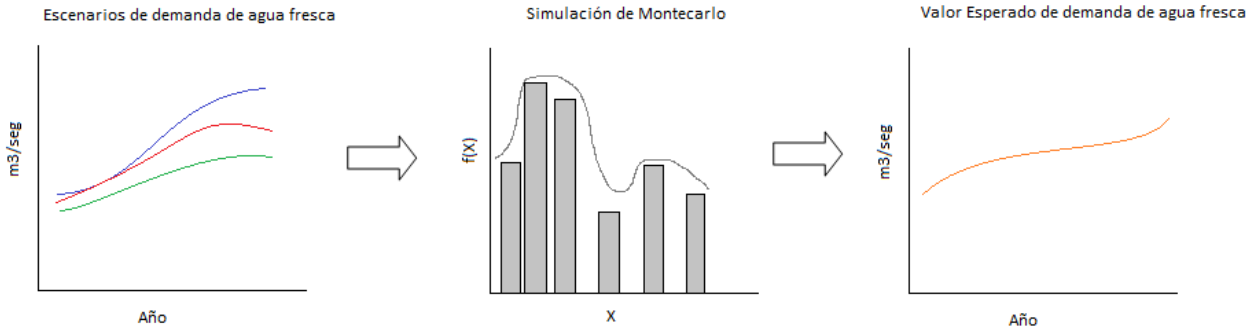
Una vez que se calcula la estimación de la demanda de agua por parte de la industria minera del cobre se considera que todas las plantas asociadas directamente a un proyecto entran en operación, es decir si un proyecto entra con uso de agua de mar, entonces no constituye demanda de agua fresca.

Posteriormente se realiza una simulación de Montecarlo, la cual considera tres escenarios posibles; un escenario de mínima producción (o de mínima demanda de agua), un escenario más probable y un escenario de máxima producción, de acuerdo a la posibilidad de que efectivamente se realicen los proyectos, según la probabilidad asignada de acuerdo a su estado de avance y la condición. De esta manera se obtiene el valor esperado de demanda de agua fresca por parte de la minería del cobre.

Para obtener el valor esperado del abastecimiento de agua de mar para los futuros proyectos se utilizó la misma metodología. Se calculan los escenarios máximo, más probable y mínimo de acuerdo a la diferencia entre el caso en que no se desarrollen plantas desaladoras ni sistemas de impulsión y el caso en que estas se realicen. Con estos tres escenarios se obtiene el valor esperado de abastecimiento de agua de mar a través de la simulación.

El cálculo de los coeficientes unitarios, la proyección de producción, la generación de escenarios y la simulación de Montecarlo se detallan en los puntos siguientes.

Figura 2: Esquema metodológico



3.1 COEFICIENTES UNITARIOS

El consumo unitario de agua fresca se refiere a la cantidad de ella 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 fresca por cada tonelada de mineral procesado (m^3/ton_min procesado)) en el caso de los concentrados. Para realizar la proyección de demanda de agua en el caso de los minerales lixiviables se utilizó el consumo unitario de agua fresca por tonelada de cobre fino (m^3/ton_fino cátodos), ya que resulta improbable proyectar la cantidad de mineral tratado, y sólo se cuenta con la proyección de cobre fino en cátodos al 2021. Para el caso de la fundición y refinería se utilizó el consumo de agua fresca por tonelada de fino total al igual que para el ítem otros (m^3/ton_fino total).

Los consumos unitarios de agua fresca por proceso minero han sido calculados por COCHILCO desde el año 2009 en base a la información recopilada en la “Encuesta de producción, energía y recursos hídricos”. Esto permite calcular coeficientes por faena y por proceso³. En tabla 1 se presentan los coeficientes unitarios a nivel país para tener una idea global de los consumos unitarios de agua fresca en la minería del cobre.

Tabla 1: Coeficientes unitarios por proceso

Proceso	Unidad de medida	Coefficiente Unitario promedio
Concentración	m^3/ton_min procesado	0,61
Hidrometalurgia	m^3/ton_fino cátodos	24,7
Fundición y Refinería	m^3/ton_fino total	6,4
Otros	m^3/ton_fino total	8,91

Fuente: COCHILCO

Para efectos de la proyección estos coeficientes se mantienen constantes, pues no se dispone de datos históricos suficientes para calcular una tendencia.

³ Para una mayor información en cuanto al desarrollo de los consumos de unitarios de agua fresca, consultar el informe “Actualización de información sobre el consumo de agua fresca asociado a la minería del cobre al año 2012”, disponible en www.cochilco.cl.

3.2 CARTERA DE PROYECTOS MINEROS Y DE PLANTAS DE AGUA DE MAR

3.2.1 PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE COBRE

Las operaciones vigentes y los proyectos de minería del cobre y oro (con cobre como coproducto)⁴, suministran el vector de producción para la proyección de demanda de agua fresca en la minería del cobre.

El potencial máximo productivo de cobre mina en Chile se resume en la tabla 2. En ella se entrega la información anualizada del 2013 al 2021 y desglosada en operaciones y proyectos según el estado de avance y condición de probabilidad de éstos a julio 2013. Se incluye la capacidad máxima de producción en el año 2012, según los antecedentes de cada operación disponibles por COCHILCO, para efectos de comparación.

**Tabla 2: Resumen de la capacidad máxima de producción de cobre mina en Chile al año 2021
(Miles de toneladas de cobre fino)**

Estado / Condición	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CONCENTRADOS											
En Operación / Base	3.689,7	4.010,8	4.019,6	3.739,7	3.441,7	3.248,4	3.128,7	3.071,0	2.894,5	2.722,7	2.522,2
En Ejecución / Base	0,0	14,0	346,0	429,4	507,9	535,8	493,2	484,6	518,1	522,5	505,5
Factibilidad / Probable	0,0	0,0	4,0	271,8	457,7	1.019,1	1.107,7	1.434,4	1.567,4	1.741,4	1.827,4
Factibilidad / Posible	0,0	0,0	0,0	10,9	16,4	40,6	327,8	498,7	840,8	1.306,1	1.560,0
Prefactibilidad / Posible	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,5	84,8	258,4	377,6	461,2
TOTAL CONCENTRADOS	3.689,7	4.024,8	4.369,6	4.451,9	4.423,8	4.843,9	5.113,9	5.573,4	6.079,2	6.670,3	6.876,4
Estado / Condición	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
SX-EW											
En Operación / Base	2.302,3	2.167,7	2.042,3	1.889,4	1.851,5	1.790,2	1.725,2	1.648,5	1.503,6	1.204,8	1.119,8
En Ejecución / Base	0,0	2,7	26,3	65,6	110,1	91,6	97,1	74,2	83,7	146,4	146,4
Factibilidad / Probable	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	35,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Factibilidad / Posible	0,0	0,0	0,0	5,5	10,9	10,9	14,9	15,9	17,9	7,0	7,0
Prefactibilidad / Posible	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL SX-EW	2.302,3	2.170,4	2.068,6	1.960,4	1.997,5	1.927,7	1.887,2	1.788,7	1.655,2	1.408,2	1.323,2

⁴ Para una mayor información en cuanto a los proyectos mineros, consultar el informe "Catastro de Inversiones Mineras 2013-2021", disponible en www.cochilco.cl

Estado / Condición	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
COBRE MINA											
En Operación / Base	5.991,9	6.178,6	6.061,9	5.629,1	5.293,2	5.038,6	4.853,9	4.719,5	4.398,1	3.927,5	3.642,0
En Ejecución / Base	0,0	16,7	372,2	495,0	618,0	627,4	590,3	558,8	601,8	668,9	651,9
Factibilidad / Probable	0,0	0,0	4,0	271,8	482,7	1.054,1	1.157,7	1.484,4	1.617,4	1.791,4	1.877,4
Factibilidad / Posible	0,0	0,0	0,0	16,4	27,3	51,5	342,7	514,6	858,8	1.313,1	1.567,0
Prefactibilidad / Posible	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,5	84,8	258,4	377,6	461,2
TOTAL	5.991,9	6.195,2	6.438,2	6.412,3	6.421,3	6.771,6	7.001,1	7.362,1	7.734,5	8.078,5	8.199,5

Fuente: COCHILCO

3.2.2 PROYECTOS DE AGUA DE MAR

El agua de mar desalinizada corresponde a agua proveniente del mar sometida a un proceso de desalinización, ya sea por osmosis inversa, electrodiálisis, destilación multiefecto (MED), evaporación flash (MSF) o destilación por energía solar, entre otros. A través de un proceso físico-químico se eliminan los minerales y se obtiene agua dulce. El agua de mar utilizada directamente en el proceso de obtención corresponde a agua de mar que es sometida a un tratamiento básico donde se elimina el material particulado inorgánico y el orgánico contenido, pero mantiene su contenido salino.

Para la proyección se consideran las actuales plantas de agua de mar funcionando y se supone todas las operaciones que tienen un proyecto de desalinización y/o impulsión de agua de mar asociado directamente a futuro también entran en operación. Para ello se utilizó el siguiente catastro de plantas desaladoras y sistemas de impulsión de agua de mar. En la tabla 3 se detalla la ubicación, estado, condición, fecha de inicio y el tipo de proyecto.

Tabla 3: Plantas actuales y proyectos de desalinización e impulsión de agua de mar

Operación o Proyecto	Región	Estado	Condición	Inicio	Tipo de proyecto
Escondida	Antofagasta	Operación	Base	0	Operando
Michilla	Antofagasta	Operación	Base	0	Operando
Esperanza	Antofagasta	Operación	Base	0	Operando
Las Cenizas Tal Tal	Antofagasta	Operación	Base	0	Operando
Mantos de luna	Antofagasta	Operación	Base	0	Operando
Sierra Gorda	Antofagasta	En Ejecución	Base	2015	Nuevo
Antucoya	Antofagasta	En Ejecución	Base	2015	Nuevo
Pampa Camarones	Parinacota	Factibilidad	Probable	2014	Nuevo
El Morro	Atacama	PreFactibilidad	Posible	2018	Nuevo
Diego de Almagro	Atacama	Pre-Factibilidad	Posible	2015	Nuevo
Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	Probable	2017	Nuevo
Escondida OGP1	Antofagasta	En Ejecución	Base	2017	Expansión
RT Sulfuros II	Antofagasta	Factibilidad	Probable	2018	Nuevo
Q. Blanca Fase 2	Tarapacá	Factibilidad	Probable	2019	Nuevo
Relincho	Atacama	Pre-Factibilidad	Posible	2019	Nuevo

Fuente: COCHILCO en base a información pública

Cada una de las plantas de los proyectos de la tabla 3 se consideran integradas a sus respectivos proyectos, pues sin planta de agua de mar no se podría entrar en operación de acuerdo a los antecedentes actuales.

Cabe señalar que para efectos de la proyección no se consideran las plantas asociadas a las operaciones de Mantoverde y Candelaria, ya que corresponden a plantas para medidas compensatorias para la comunidad no para el procesamiento de los minerales. Tampoco las plantas de Lomas Bayas III y Collahuasi fase 3, pues corresponden a proyectos de desalinización que serán definidos en su etapa de factibilidad, por lo que aún tienen alta incertidumbre.

Tabla 4: Plantas no consideradas en la proyección de agua de mar

Operación o Proyecto	Región	Estado	Condición	Inicio	Tipo de proyecto
Mantoverde	Atacama	En Ejecución	Base	2014	Expansión
Candelaria	Atacama	En Ejecución	Base	2014	Expansión
Lomas Bayas III	Antofagasta	Pre-Factibilidad	Posible	2017	Nuevo
Collahuasi	Tarapacá	Pre-Factibilidad	Posible	2019	Expansión

Fuente: COCHILCO en base a información pública

3.3 SUPUESTOS

Cabe señalar que para el desarrollo de estimaciones de la demanda de agua fresca por parte de la minería del cobre en el país fue necesaria la utilización de los siguientes supuestos.

- Para las faenas en operación se utiliza el coeficiente de consumo de agua fresca reportado al 2012.
- Para proyectos de expansión se utiliza el mismo coeficiente que la operación principal.
- Proyección no considera mejoras en la eficiencia tecnológica ni mayor reutilización en las faenas, por tanto supone mantener el mismo consumo unitario en el tiempo.
- En el caso de las faenas que utilizan agua de mar, se supone que el consumo unitario de agua fresca es nulo.
- Para los nuevos proyectos se consideran coeficientes unitarios de operaciones similares, o el promedio de la industria.
- Proyección de agua de mar de acuerdo al Catastro de proyectos de plantas desaladoras y sistemas de impulsión, actualizado a octubre 2013 (ver capítulo 3.2.2).
- Cada nuevo proyecto que utiliza agua de mar, está asociado un proyecto minero, los cuales están condicionados mutuamente, es decir, si no hay planta desaladora o sistema de impulsión de agua de mar no hay proyecto y viceversa.
- Para el coeficiente de “otros” se utiliza el coeficiente promedio de la industria según tamaño. Para gran minería (> 75.000 tpa) 8,05 m³/ton_fino y para la mediana minería (< 75.000 tpa) 15,1 m³/ton_fino.
- En el caso de la Fundición y Refinería se consideraron aquellas que son independientes de la operación. En el caso en que la fundición y/o refinería esté ubicada en la misma operación minera este servicio se considera dentro del ítem “Otros”.

3.4 GENERACIÓN DE ESCENARIOS

Las proyecciones de producción se hicieron en base a tres escenarios, sujeta a variabilidad de acuerdo a probabilidades de ejecución, ellos se definen a continuación:

- Escenario de mínima producción: sólo las operaciones actuales mantienen su nivel de producción y los demás proyectos se realizan con un bajo porcentaje de certidumbre.
- Escenario más probable: las operaciones actuales operan y un mayor porcentaje de cada uno de los proyectos (ejecución, factibilidad y prefactibilidad) entra en operación⁵.
- Escenario de máxima producción: las operaciones actuales y todos los proyectos se ejecutan en las fechas estipuladas y operan a plena capacidad.

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 las tablas a continuación 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 las operaciones el año 1 corresponde al 2013. En el caso de los proyectos el año 1 corresponde al año de puesta en marcha previsto en el catastro de proyectos de COCHILCO a julio 2013.

Tabla 5: Vectores de probabilidades para el escenario mínimo, según estado y condición del proyecto (%)

Estado	Condición	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
Prefactibilidad	Posible	8	15	23	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Factibilidad	Posible	30	39	50	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Factibilidad	Probable	40	52	67	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
Ejecución	Base	72	76	81	86	91	95	95	95	95	95	95	95	95
Operación	Base	85	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: COCHILCO

⁵ Estos porcentajes fueron calculados en base a los catastros de inversión realizados anteriormente en COCHILCO, asignando niveles de certidumbre de acuerdo al estado de avance en el que se encuentran.

Tabla 6: Vectores de probabilidades para el escenario más probable, según estado y condición del proyecto (%)

Estado	Condición	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prefactibilidad	Posible	10	20	30	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Factibilidad	Posible	40	52	67	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
Factibilidad	Probable	46	59	77	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
Ejecución	Base	72	76	81	86	91	95	95	95	95	95	95	95	95
Operación	Base	95	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: COCHILCO

Tabla 7: Vectores de probabilidades para el escenario máximo, según estado y condición del proyecto (%)

Estado	Condición	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prefactibilidad	Posible	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Factibilidad	Posible	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Factibilidad	Probable	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ejecución	Base	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Operación	Base	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: COCHILCO

De este modo se obtienen tres escenarios de demanda de agua fresca en la minería del cobre 2013-2021 para el caso pesimista y tres escenarios para el caso optimista.

3.5 SIMULACIÓN DE MONTECARLO

El Método Montecarlo es un método numérico que permite resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. La simulación es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística y los computadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales. La clave de la simulación de Montecarlo es crear un modelo matemático del proceso a analizar, identificando aquellas variables cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema.

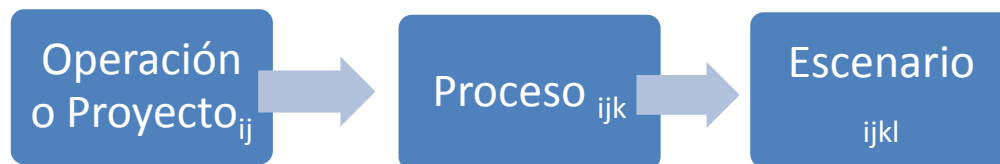
Una vez identificadas las variables aleatorias, se lleva a cabo un experimento que consiste en generar muestras aleatorias para dichos *inputs* y analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir “n” veces este experimento, dispondremos de “n” observaciones sobre el comportamiento, lo cual nos será de utilidad para entender un funcionamiento futuro.

El primer componente de un cálculo de Montecarlo es el muestreo numérico de variables aleatorias con funciones de densidad de probabilidad específicas, para generar valores aleatorios de una variable X distribuida en el intervalo $X_{min} < X < X_{max}$ de acuerdo a la función densidad de probabilidad.

En el caso específico de este estudio se realizaron 500 iteraciones por cada año proyectado para cada proceso, utilizando una distribución beta.

Para cada operación o proyecto se identifican los procesos que contempla. Luego, para cada año a proyectar y cada escenario a generar, se calcula el consumo de agua fresca que tendría cada proceso, de cada operación, tal como se muestra en el siguiente esquema.

Figura 3: Esquema de la generación de escenarios



En donde:

i: operaciones y proyectos.

j: año a proyectar, del 2013 al 2021, donde 1 corresponde al año 2013 para las operaciones y el año de puesta en marcha previsto en julio 2013 para los proyectos.

k: procesos mineros contemplados (Concentración, LxSxEw, Fundición y Refinería y Otros según corresponda a cada operación).

l: los escenarios a generar: mínimo, más probable y máximo.

Como resultado 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 fresca.

Digamos que $E(\text{Consumo_agua_fresca}_{ijk})$ es la esperanza o valor esperado del consumo de agua fresca del proceso k de la operación/proyecto i en el año j . En consecuencia es la unidad básica de información, el cual puede ser acumulado por diversos conceptos. Es así como el consumo esperado de agua fresca presentado en las proyecciones de este estudio se calcula de la siguiente manera:

$$\sum_i \sum_k E(\text{Consumo_agua_fresca}_{ijk}) \quad , \quad \forall j$$

Estas sumatorias fueron filtradas de distintas formas para poder obtener los resultados del capítulo 5 del presente informe.

En el caso del agua de mar, se obtienen tres escenarios y de la misma forma se calcula el valor esperado a través de la simulación de la siguiente manera:

$$\sum_i \sum_k E(\text{Consumo_agua_mar}_{ijk}) \quad , \quad \forall j$$

4. PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA DE AGUA FRESCA EN LA MINERÍA DEL COBRE

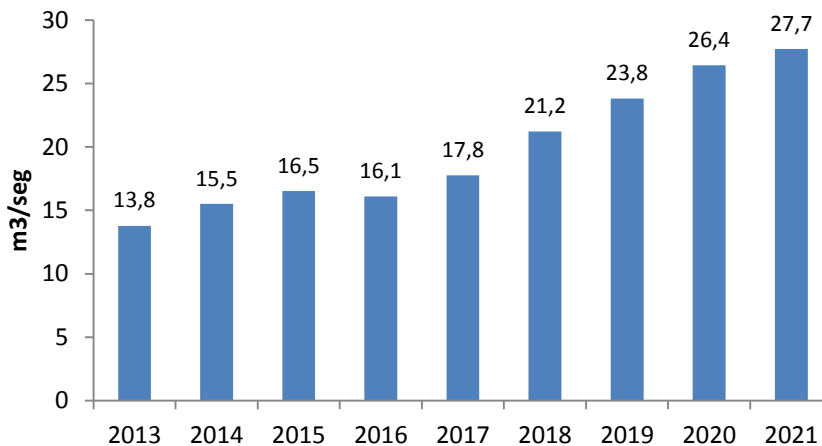
4.1 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – PAÍS

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el consumo máximo de agua fresca en el sector de la minería del cobre. Si bien este escenario es bastante improbable, nos da una cota superior para el consumo de agua fresca por parte de la minería del cobre. Por su parte los consumos unitarios fueron aplicados en función del proyecto, proceso minero y año de operación.

El análisis contempla la proyección de demanda máxima a nivel país, por región y por proceso. Este punto no busca dar un mayor análisis de la proyección de demanda máxima sino más bien describir numéricamente el panorama de máxima demanda. Para mayor detalle revisar anexos 8.4 al 8.7.

4.1.1 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – TOTAL

Gráfico 1: Demanda máxima de agua fresca en la minería del cobre

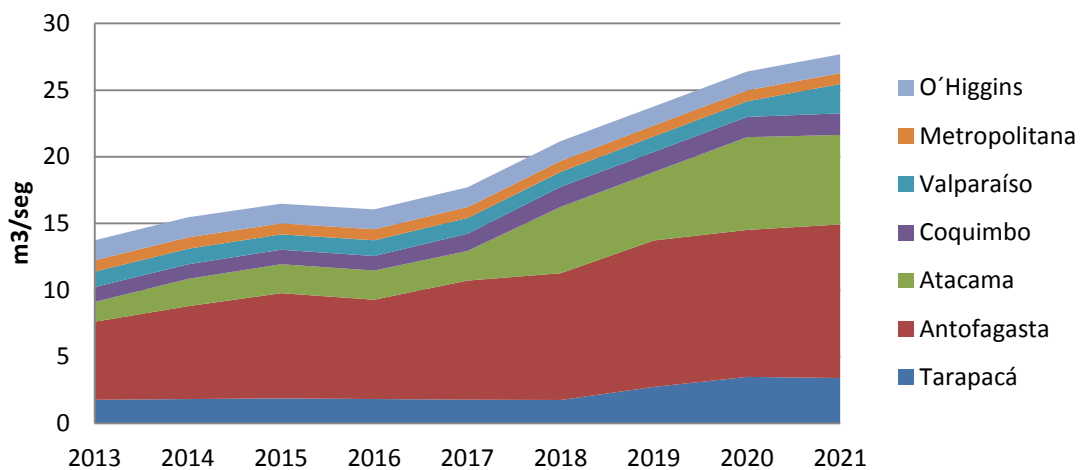


Fuente: Elaborado por COCHILCO

Bajo la hipótesis de un escenario de máximo consumo de agua fresca, donde la capacidad de producción es concretada en un 100% y los proyectos de desalinización no son ejecutados, la demanda máxima esperada al 2021 es de 27,7 m³/seg, lo que representa una cota máxima de consumo de agua fresca por parte de la minería (ver anexo 8.1).

4.1.2 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – POR REGIÓN

Gráfico 2: Demanda máxima de agua fresca en la minería del cobre según región

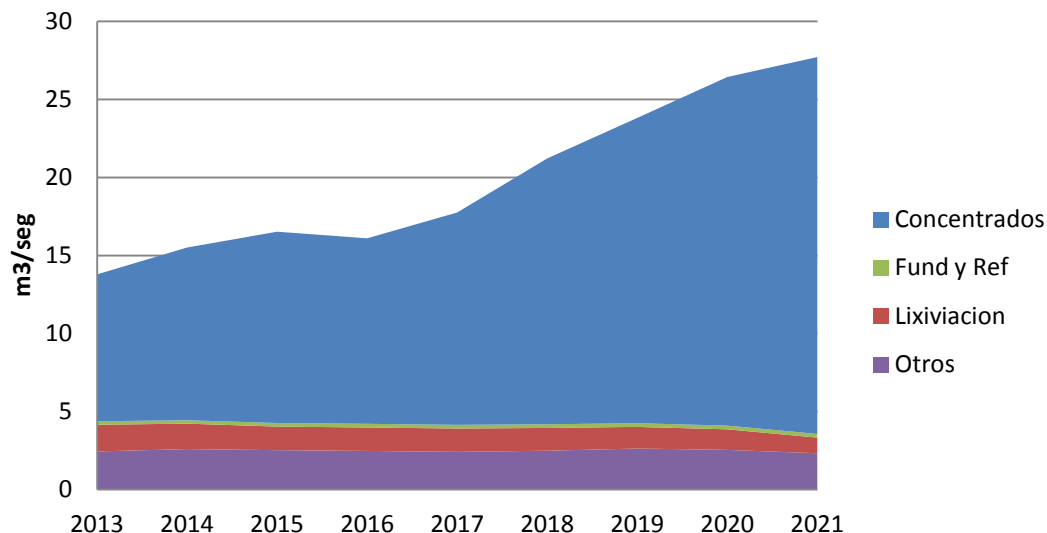


Fuente: Elaborado por COCHILCO

El gráfico 2 muestra el comportamiento de la demanda máxima de agua fresca de acuerdo a la región de consumo y se observa un considerable aumento en la II Región de Antofagasta junto a la III Región de Atacama. Esto se explica porque son las regiones con mayor cantidad de operaciones y proyectos para los próximos años (ver anexo 8.2).

4.1.3 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – POR PROCESO

Gráfico3: Demanda máxima de agua fresca en la minería del cobre por proceso



Fuente: Elaborado por COCHILCO

La estimación de demanda máxima futura de agua fresca en la minería del cobre se explica de acuerdo a la proyección de capacidad máxima de producción por proceso, pues estos crecen en la misma relación, pues espera que año a año aumente la producción de concentrados y por su parte disminuya la producción de cátodos a través de la hidrometalurgia⁶.

Como el consumo de agua fresca por unidad de mineral procesado en la concentradora es mayor que en el caso de la hidrometalurgia, el aumento en el consumo de agua fresca sigue la tendencia creciente de la producción de concentrados⁷.

⁶ Para más información respecto a proyección de producción ver informe “La inversión en la minería chilena, catastro de proyectos” elaborado por COCHILCO 2013.

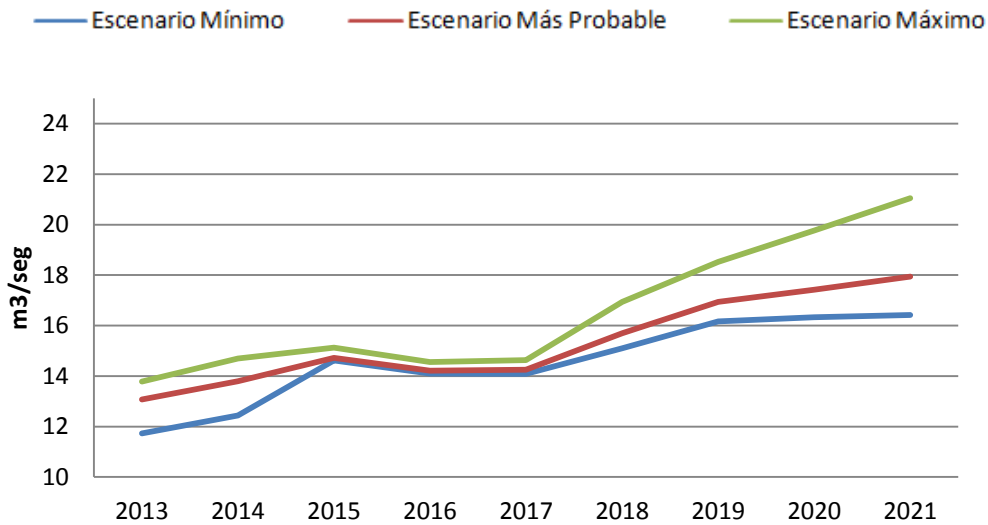
⁷ Para más detalles respecto a la demanda máxima de agua fresca en la minería del cobre por proceso ver anexo 8.3.

5. PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA DE AGUA FRESCA EN LA MINERÍA DEL COBRE

Para la proyección de la demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre al 2021, se consideró el vector de producción, el coeficiente unitario y se considera que todos los nuevos proyectos asociados a una planta desaladora o sistema de impulsión se realizan.

En el gráfico 4 se observan los tres escenarios de demanda de agua, de donde se obtiene el valor esperado (ver anexo 8.8).

Gráfico 4: Escenarios de demanda de agua fresca en la minería del cobre 2013-2021



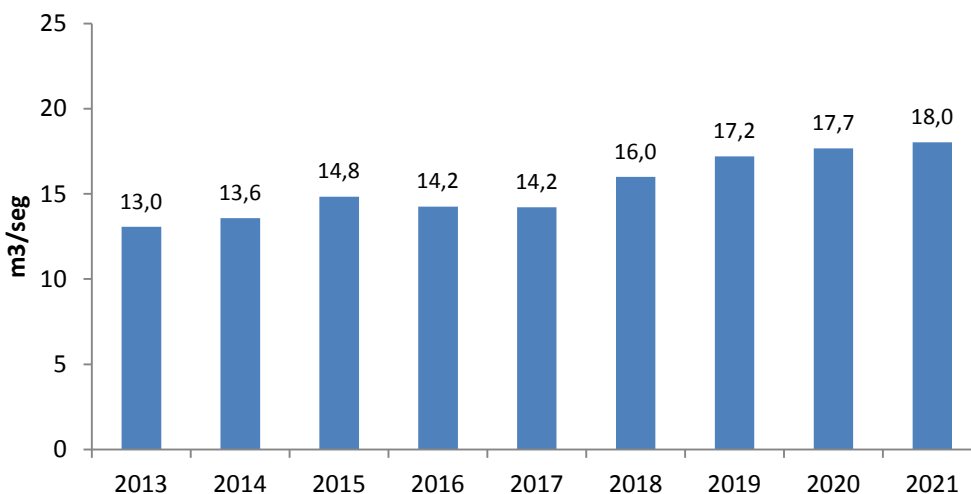
Fuente: Elaborado por COCHILCO

5.1 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – TOTAL

En este punto se determina la demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre 2013-2021, de acuerdo a los resultados obtenidos a través de la simulación de Montecarlo.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación la demanda de agua fresca esperada al 2021 va desde los 13 m³/seg en 2013 a los 18 m³/seg, lo que representa un aumento del 38% (ver anexo 8.9). Este aumento se explica principalmente por el crecimiento en la cantidad de mineral procesado para la concentradora. La relación entre mineral tratado y cobre fino contenido en el concentrado producido muestra una tendencia desfavorable, donde la tasa de crecimiento del tratamiento de mineral es de 11,5% anual en el período 2012 – 2021, mientras que la tasa anual de crecimiento del cobre fino obtenible sería de 6,1%. La minería del cobre enfrenta una tendencia decreciente en las leyes del mineral a extraer, lo que implica que las nuevas plantas deben diseñarse de mayor capacidad de tratamiento de mineral para obtener la misma cantidad de cobre en comparación a las plantas más antiguas.

Gráfico 5: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre



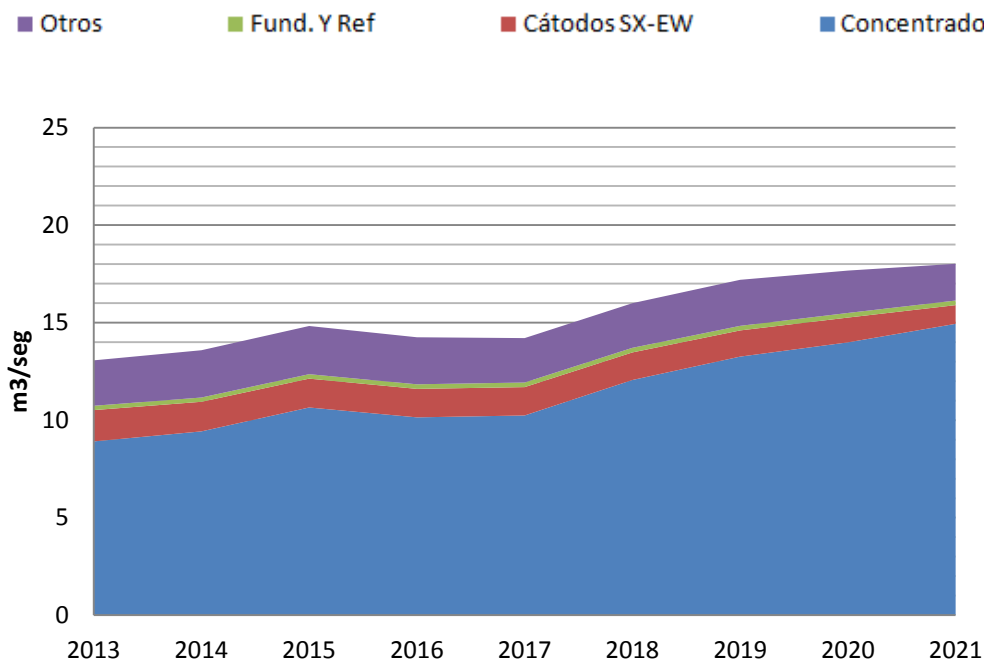
Fuente: Elaborado por COCHILCO

En las siguientes sub-secciones se realizará un análisis detallado de la demanda esperada de agua fresca por parte de la minería del cobre, según región, por proceso, según estado de avance, según condición, según escala de producción y de acuerdo al tipo de proyecto.

5.2 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – POR PROCESO

Los principales procesos de de cobre son la concentración de los minerales sulfurados para la producción de concentrados, la hidrometalurgia de los minerales oxidados de donde se obtienen cátodos SX-EW, la fundición y refinería y el ítem otros. Al analizar la variación de la demanda según el proceso de producción, vemos que los concentrados demandan gran parte del agua fresca 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. En el gráfico 6 se observa la proyección de demanda esperada de agua según el proceso de producción.

Gráfico 6: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según proceso



Fuente: Elaborado por COCHILCO

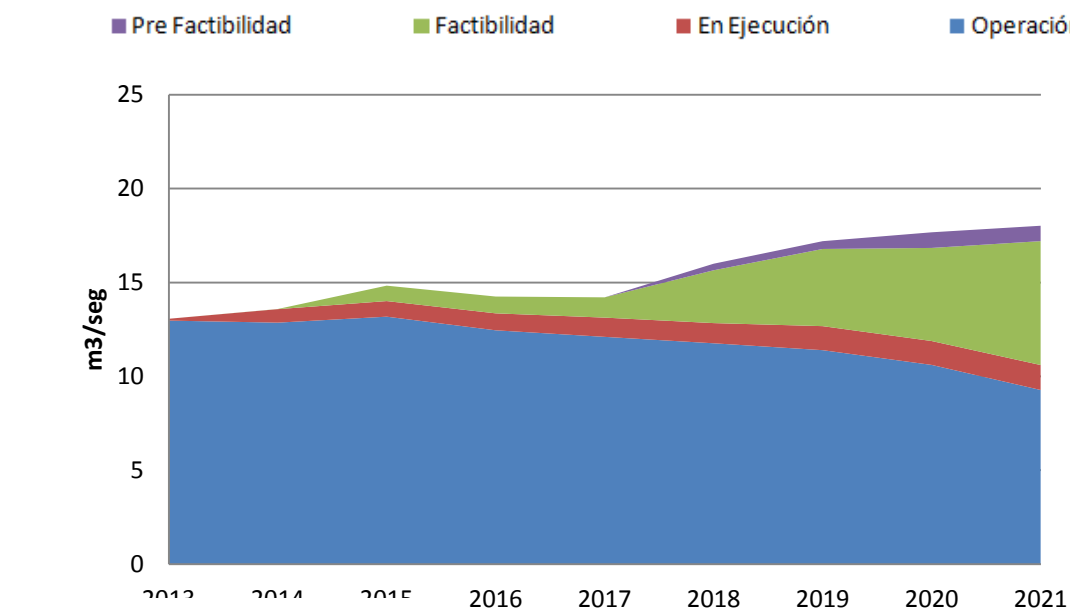
Se espera que al 2021 el agua fresca en concentrados alcansasen el 83%, los cátodos el 5%, la Fundición y Refinería el 1% y el ítem “otros” el 10% (ver anexo 8.10).

5.3 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN ESTADO DE AVANCE

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 estados; pre factibilidad, factibilidad, en ejecución y operación.

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.

Gráfico 7: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según estado de avance



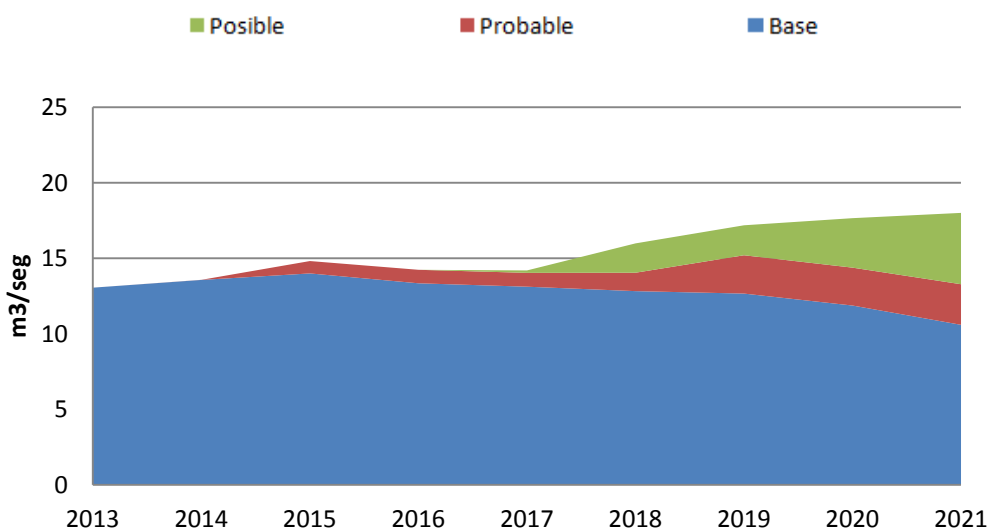
Fuente: Elaborado por COCHILCO

Al observar la evolución de la demanda de agua en la minería del cobre de acuerdo al estado de avance de los proyectos en el gráfico 7, vemos que al 2021 más de la mitad corresponden a proyectos que hoy en día se encuentran en etapa de factibilidad y pre factibilidad (ver anexo 8.11).

5.4 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN CONDICIÓN

Otro aspecto relevante a la hora de analizar la demanda futura de agua fresca por la minería del cobre es la condición de los proyectos. La combinación de los atributos de tipo del proyecto y su estado de avance condiciona su mayor a menor certeza en su materialización. En consecuencia se definen tres condiciones: base, probable y posible (ver anexo 8.12).

Gráfico 8: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según condición



Fuente: Elaborado por COCHILCO

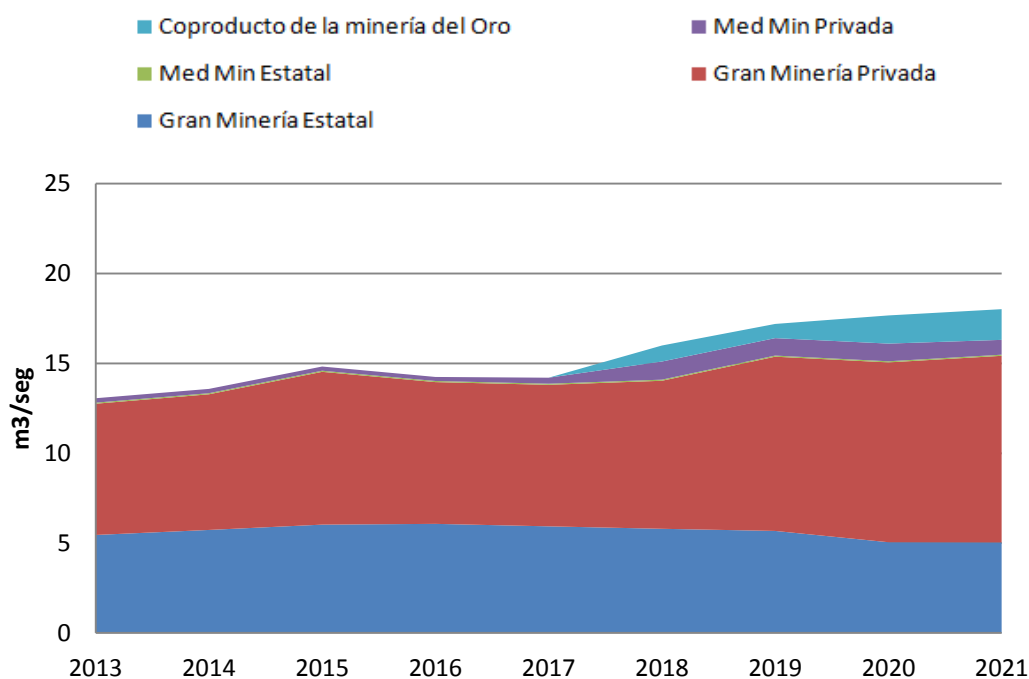
La condición Base comprende a las operaciones actuales más aquellos proyectos en ejecución, altamente probables, sin perjuicio que aún podrían presentar retrasos en su puesta en marcha. Aquellos en condición Probable, son los proyectos en factibilidad del tipo reposición o expansión o nuevos de compañías con operaciones en Chile y puesta en marcha prevista hasta el año 2017. Aunque pueden sufrir cambios significativos y demoras, su mayor certeza radica en que corresponden a proyectos que condicionan la prolongación de la vida útil de operaciones vigentes. Por último los proyectos en condición Posible corresponden a los proyectos en factibilidad, del tipo nuevos de compañías sin operaciones en Chile, aquellos de reposición o expansión cuya puesta en marcha sea no antes del 2018 y a todos los proyectos aún en estado de pre factibilidad. Ello obedece a que los proyectos nuevos de empresas sin experiencia anterior en Chile pueden enfrentar diversas situaciones propias de un proyecto inicial, lo que puede incidir en cambios significativos y demoras, incluyendo el eventual desistimiento del inversionista.

5.5 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN ESCALA DE PRODUCCIÓN

El volumen de producción de la gran minería del cobre en Chile se refleja en el consumo de agua fresca. Si bien el consumo unitario de la gran minería es menor que la mediana minería, por economías de escala, el consumo total de agua fresca es en su gran mayoría por parte de la gran minería del cobre, tanto estatal como privada (ver anexo 8.13).

Para distinguir la escala de producción de las operaciones y proyectos se establecieron cinco categorías: Gran Minería Estatal, Gran Minería Privada, Mediana Minería Estatal, Mediana Minería Privada y Coproducto de la minería del Oro.

Gráfico 9: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según escala de producción



Fuente: Elaborado por COCHILCO

Un punto a destacar en esta sección es la importancia de nuevas fuentes de agua e innovación en materia de recursos hídricos. La mayoría de la gran minería del cobre en Chile, ya ha implementado mejoras en la eficiencia del recurso, alcanzando altas tasas de recirculación del agua, por lo que más allá de un tema de gestión del recurso, existe un problema de disponibilidad del agua.

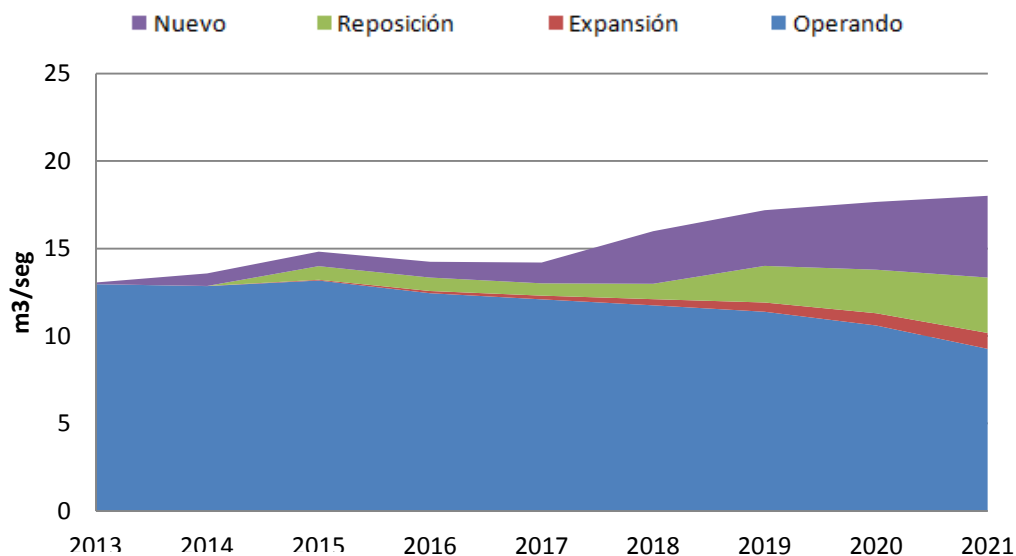
Cabe señalar que para los proyectos de la minería del oro con coproducción de cobre, se ha asumido consumos unitarios propios de la concentración y lixiviación del cobre y no incluyen los consumos específicos de la recuperación del oro.

5.6 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN TIPO DE PROYECTO

Para determinar la proyección de demanda esperada de agua fresca según tipo de proyecto, se establecieron cuatro categorías: proyectos nuevos, en reposición, de expansión u operando. Al observar la demanda de agua fresca en la minería del cobre según tipo de proyecto se observa que al 2021, un alto porcentaje corresponde a proyectos nuevos (ver anexo 8.14). Esto conlleva mayores posibilidades para los “oferentes de agua”, ya que al ser proyectos nuevos pueden ajustarse a nuevas técnicas, distintas calidades de agua, proyectos de traspaso de cuencas, entre otras alternativas.

Para aquellos proyectos que ya están en operación resulta más complejo adaptarse a nuevas tecnologías, ya que requiere de una factibilidad técnica y económica que muchas veces no resulta rentable.

Gráfico 10: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según tipo de proyecto



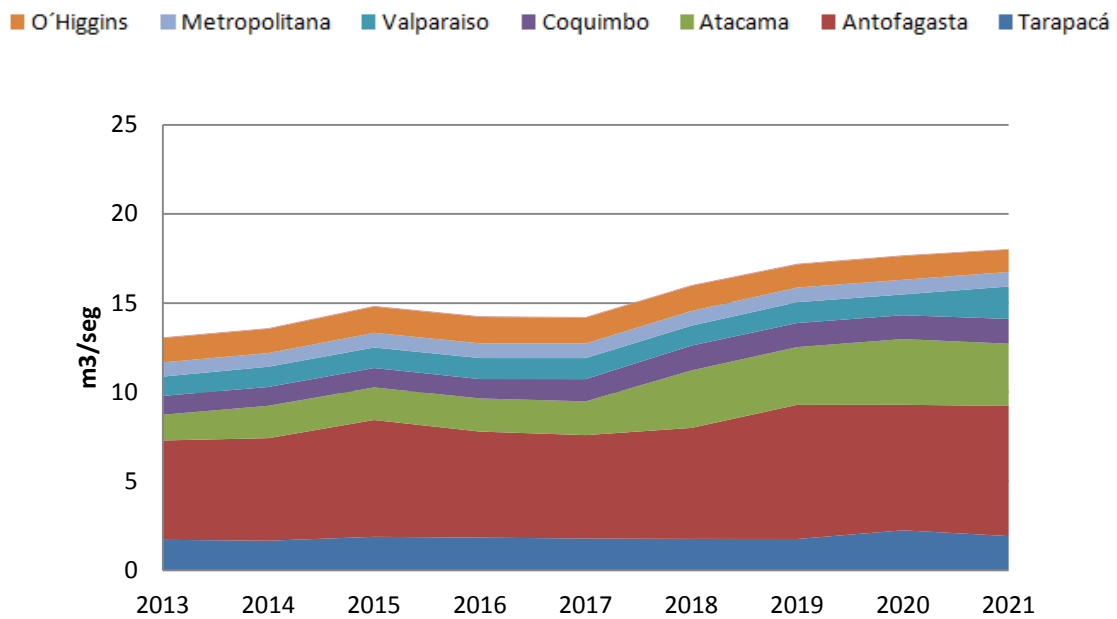
Fuente: Elaborado por COCHILCO

La demanda de agua fresca por parte de los proyectos operando de la minería del cobre, alcanza los 9,3 m³/seg al 2021. En tanto, los proyectos nuevos solo alcanzan los 4,7 m³/seg de agua fresca.

5.7 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – POR REGIÓN

La demanda de agua fresca está destinada a materializarse mayormente en las regiones mineras del norte de Chile. Si bien la Región de Antofagasta es el principal consumidor de agua fresca, la demanda por parte de la Región de Atacama presenta un aumento considerable principalmente gracias al desarrollo de nuevas operaciones de la minería del oro a gran escala que obtienen como coproducto el cobre (ver anexo 8.15).

Gráfico 11: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según región



Fuente: Elaborado por COCHILCO

6. PROYECCIÓN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE MAR PARA NUEVOS PROYECTOS 2013-2021

La gran apuesta para poder desarrollar la minería de manera sustentable en un futuro cercano parece ser el agua de mar, si enfocamos la sustentabilidad desde un punto de vista del aprovechamiento adecuado de los recursos a los cuales tenemos un acceso limitado. Las empresas están abocadas y preocupadas del tema, por ello buscan alternativas para que los usos actuales de agua fresca disminuyan.

La utilización de agua de mar en minería está siendo una opción cada vez más rentable e incluso, la única posibilidad factible técnica y económicamente para muchas faenas mineras. La desalinización ha sido planteada como una de las mejores soluciones al conflicto hídrico que sufre el norte del país, pues más allá del costo, la desalación reduce la presión sobre otras fuentes de recursos hídricos y aumenta la disponibilidad del recurso. Actualmente el monto proyectado en operaciones que utilizan agua de mar con su respectivo sistema de impulsión es de US\$ 5.447 millones, sin considerar además algunos proyectos la inversión de plantas desaladoras y sistemas de impulsión que se incluyen dentro del monto total de inversión del proyecto minero original, por lo que es difícil determinar los montos individuales.

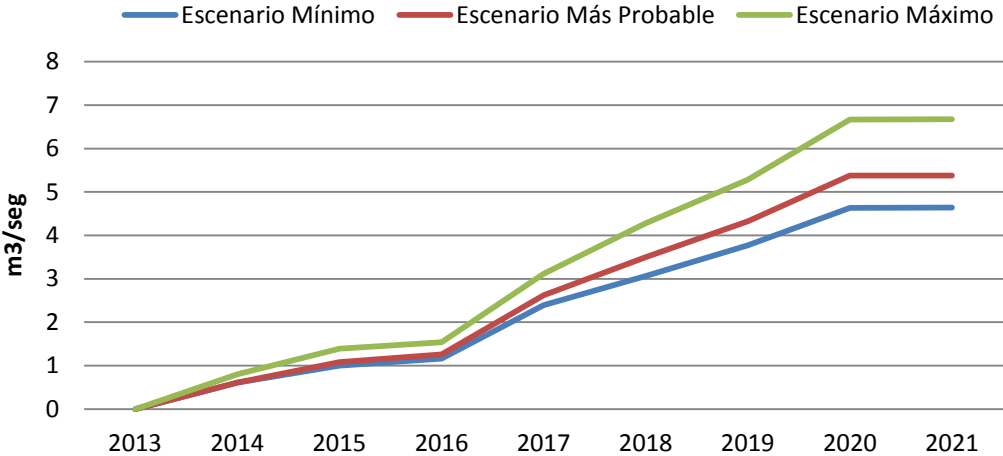
En este punto se hace referencia a toda agua de mar que es extraída desde la costa, la que se puede utilizar directamente en los procesos o previa desalinización. Es importante destacar que el uso de agua de mar no requiere derechos de agua competitivos con el agua fresca.

- Agua de mar sin desalar: Agua de mar utilizada en los procesos directamente, a través de un tratamiento básico.
- Agua Desalinizada: Agua de mar sometida a un proceso de desalinización, ya sea por osmosis inversa, electrodiálisis, destilación multiefecto (MED), evaporación multi-etapas flash (MSF) o destilación por energía solar, entre otros.

Para estimar la cantidad de agua de mar utilizada en la minería del cobre se creó un caso pesimista, en donde se utilizó el mismo vector de producción, sin embargo no se consideran los proyectos futuros que utilicen agua de mar, es decir se asume que aquellos proyectos que tienen una planta desaladora o sistema de impulsión de agua de mar asociados utilizarían agua fresca (ver anexo 8.8 al 8.15).

Para ello se determinan tres escenarios en base a la producción, como se hizo anteriormente con la proyección de demanda de agua fresca. Para determinar los escenarios se calculó la diferencia entre el caso pesimista y el optimista, otorgándonos la cantidad de agua de mar necesaria para lograr la producción esperada en cada escenario (ver anexo 8.16).

Gráfico 12: Escenarios de demanda de agua de mar en la minería del cobre 2013-2021



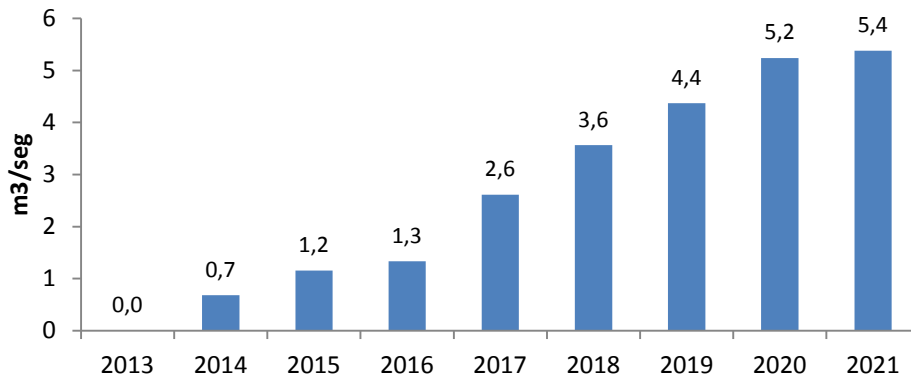
Fuente: Elaborado por COCHILCO

Se utilizan los escenarios de demanda de agua de mar, ya que de este modo se considera caso a caso, mientras que al utilizar la diferencia de valores esperados se pierde información específica de cada operación. Con los escenarios de máxima, más probable y mínima utilización de agua de mar en base a la producción, se utiliza la misma metodología anterior y se obtiene el valor esperado de agua de mar a través de una simulación de Montecarlo.

6.1 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA AGUA DE MAR – TOTAL

De acuerdo a la simulación de Montecarlo se obtiene el siguiente valor esperado para la proyección de agua de mar en la minería del cobre al 2021.

Gráfico 13: Demanda esperada de agua de mar en la minería del cobre



Fuente: Elaborado por COCHILCO

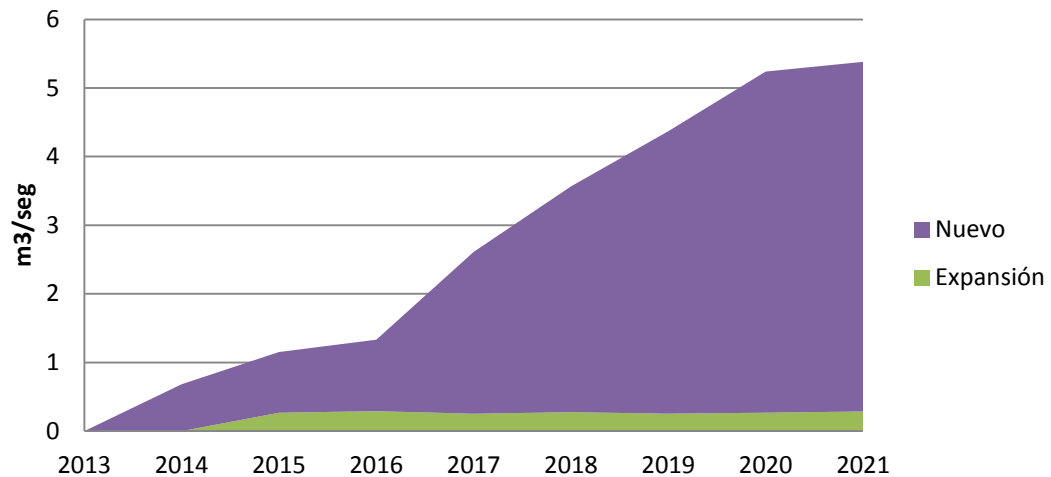
Esta proyección corresponde a los nuevos proyectos o expansiones que serian abastecidos por agua de mar. Las faenas que actualmente utilizan agua de mar, ya sea desalada o directamente, no son consideradas en la proyección de agua de mar (ver anexo 8.17).

Se observa que el abastecimiento de agua desde fuentes de origen marino tiene una tendencia creciente en el tiempo, lo que favorece la disponibilidad de agua fresca en la zona.

6.2 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA AGUA DE MAR – SEGÚN TIPO DE PROYECTO

Al analizar la utilización de agua de mar según tipo de proyecto, vemos que los proyectos nuevos alcanzan el 95%, mientras que los de expansión tienen el 5% restante, correspondiente a la expansión de Escondida OGP1 (ver anexo 8.18).

Gráfico 14: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según tipo de proyecto



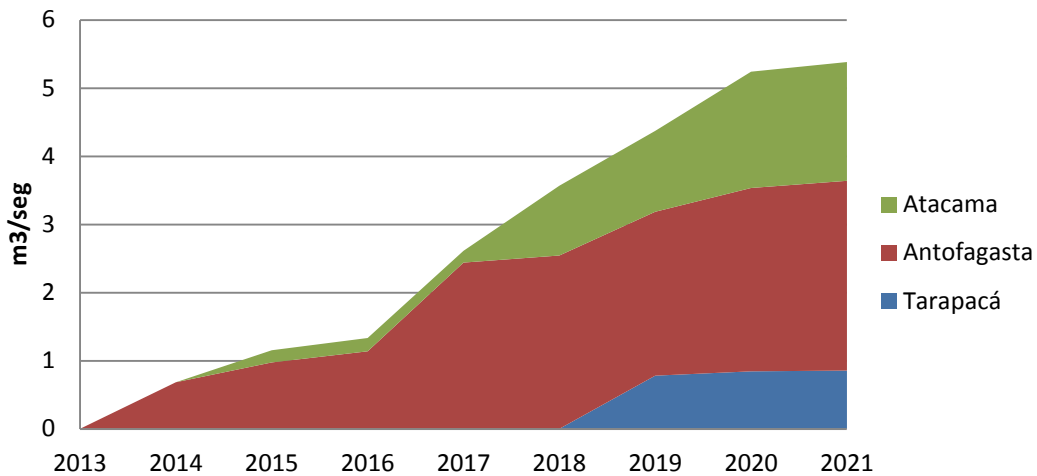
Fuente: Elaborado por COCHILCO

En este sentido resulta fundamental impulsar el desarrollo de los nuevos proyectos que se abastecen de agua de origen marino, a través de incentivos y facilidades para su implementación, en la medida que cumplan con la reglamentación.

6.3 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA AGUA DE MAR – POR REGIÓN

Finalmente al analizar las regiones donde se utiliza el agua de mar como fuente para el procesamiento de los minerales, vemos que es en las regiones del norte, ya que es donde hay mayor escasez del recurso hídrico (ver anexo 8.19).

Gráfico 15: Demanda esperada de agua fresca en la minería del cobre según región



Fuente: Elaborado por COCHILCO

Gracias al diagnóstico que se realiza a través de este estudio es posible identificar las regiones que se ven más afectadas por la actividad minera de manera de optimizar el uso de éstos de manera sostenible en el tiempo.

7. COMENTARIOS FINALES

De acuerdo a las últimas estimaciones recopiladas por COCHILCO la cartera de inversiones en proyectos mineros hacia el 2021 está valorada en US\$112.500 millones, de los cuales US\$90.000 millones se invertirían en el período 2013-2017. Sin embargo, estas elevadas inversiones conllevan retos: es necesario trabajar en materia energética, recursos hídricos y recursos humanos. A través de este estudio se estima que la demanda máxima al 2021 de agua fresca por parte de la minería del cobre alcanzaría los 27,7 m³/seg, de no hacerse ningún proyecto de agua de mar, por lo tanto abastecer a los nuevos proyectos con agua fresca, y mantener una producción a capacidad máxima. Por otro lado, en el caso de que se realicen todos los proyectos de desalinización e impulsión de agua de mar asociados a los nuevos proyectos mineros, se espera una demanda de agua fresca al 2021 de 18 m³/seg, lo cual representa un aumento de 38% respecto a los 13 m³/seg que alcanzaría al 2013, principalmente por un aumento en la cantidad de mineral procesado en la concentradora, donde el uso de agua es más intensivo.

Según la proyección calculada, se espera que al 2021 el agua fresca para concentrados alcanzaría el 83%, los cátodos el 5%, la Fundición y Refinería el 1% y el ítem “otros” el 10%. De lo anterior surgen oportunidades para nuevas tecnologías que otorguen mayor eficiencia y reutilización de agua en el proceso de concentración. Al analizar la demanda de agua fresca en la minería del cobre según tipo de proyecto, se observa que al 2021 un alto porcentaje corresponde a proyectos nuevos. Esto conlleva mayores posibilidades para los “oferentes de agua”, ya que al ser proyectos nuevos pueden ajustarse a nuevas técnicas, distintas calidades de agua, proyectos de traspaso de cuencas, entre otras alternativas.

La demanda de agua fresca está destinada a materializarse mayormente en las regiones mineras del norte de Chile. Si bien la Región de Antofagasta es el principal consumidor de agua fresca, la demanda por parte de la Región de Atacama presenta un aumento considerable principalmente gracias al desarrollo de nuevas operaciones de la minería del oro a gran escala que obtienen como coproducto el cobre.

Desde el punto de vista de las nuevas fuentes de agua, como es la desalinización e impulsión de agua de mar, los vínculos entre la energía y el agua, y la creciente preocupación por la generación apuntan a la necesidad de obtener datos sobre el consumo de agua futuro para estudiar las distintas alternativas que pueda ofrecer el mercado. Al calcular la proyección de abastecimiento de agua mar en los nuevos proyectos se observa que los 5,4 m³/seg que aportaría el agua de mar significaría una disminución del 23,9% del total de agua fresca demandada al 2021.

En el caso del uso de agua de origen marino, se proyecta un considerable aumento en demanda de agua de mar al 2021, en su mayoría como fuente de abastecimiento en proyectos nuevos. El uso de agua de mar refleja el enorme esfuerzo que realizan las compañías mineras por disminuir el consumo de agua fresca y así reducir el estrés hídrico de la zona norte. De hecho el monto proyectado de inversión en operaciones que utilizan agua de mar con su respectivo sistema de impulsión es de US\$ 5.447 millones.

8. ANEXOS

8.1 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – TOTAL (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Dda max país	13,78	15,50	16,52	16,10	17,75	21,21	23,81	26,44	27,72

8.2 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – POR REGIÓN (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Antofagasta	5,9	7,0	7,9	7,4	8,9	9,5	11,0	11,0	11,5
Atacama	1,5	2,0	2,2	2,2	2,2	5,0	5,1	7,0	6,7
Coquimbo	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,5	1,5	1,5	1,6
Metropolitana	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
No determinada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
O'Higgins	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
Tarapacá	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	2,7	3,5	3,4
Valparaíso	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	2,2

8.3 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – POR PROCESO (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Concentrados	9,42	11,07	12,26	11,89	13,61	17,04	19,57	22,35	24,16
Lixiviación	1,71	1,63	1,51	1,50	1,50	1,46	1,39	1,32	1,00
Otros	2,43	2,58	2,51	2,47	2,40	2,48	2,62	2,53	2,32
Fund y Ref	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

8.4 PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – SEGÚN ESTADO DE AVANCE (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Operación	13,65	13,79	13,18	12,45	12,10	11,76	11,40	10,61	9,28
En ejecución	0,13	1,71	1,80	1,84	2,22	2,22	2,44	2,72	2,77
Factibilidad	0,00	0,01	1,54	1,80	3,42	6,52	9,26	11,62	14,06
Pre Factibilidad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,72	1,49	1,61

8.5 *PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – SEGÚN CONDICIÓN (M³/SEG)*

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Base	13,78	15,49	14,98	14,29	14,33	13,99	13,84	13,33	12,04
Posible	0,00	0,00	0,26	0,27	0,47	4,08	4,24	7,28	9,70
Probable	0,00	0,01	1,28	1,53	2,95	3,15	5,74	5,83	5,97

8.6 *PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – SEGÚN ESCALA DE PRODUCCIÓN (M³/SEG)*

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Gran minería estatal	5,83	6,20	6,11	6,28	7,44	7,36	7,32	6,66	7,23
Gran minería privada	7,63	8,99	9,85	9,26	9,60	10,53	13,13	15,30	16,09
Mediana minería estatal	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Mediana minería privada	0,26	0,26	0,49	0,49	0,65	1,54	1,54	1,56	1,48
Coproducto de la minería del oro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	1,75	2,85	2,85

8.7 *PROYECCIÓN DEMANDA MÁXIMA – SEGÚN TIPO DE PROYECTO (M³/SEG)*

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Nuevo	0,13	1,71	2,06	2,24	4,12	7,75	9,00	11,48	12,49
Reposición	0,00	0,01	0,05	0,15	0,26	0,43	0,69	0,84	1,25
Expansión	0,00	0,00	1,23	1,25	1,27	1,27	2,72	3,50	4,71
Operando	13,65	13,79	13,18	12,45	12,10	11,76	11,40	10,61	9,28

8.8 ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS PARA LA DEMANDA ESPERADA (M³/SEG)

8.8.1 CASO PESIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Escenario Mínimo	11,7	13,1	15,6	15,3	16,5	18,2	19,9	21,0	21,1
Escenario Más Probable	13,1	14,4	15,8	15,5	16,9	19,2	21,3	22,8	23,3
Escenario Máximo	13,8	15,5	16,5	16,1	17,8	21,2	23,8	26,4	27,7

8.8.2 CASO OPTIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Escenario Mínimo	11,7	12,4	14,6	14,1	14,1	15,1	16,2	16,3	16,4
Escenario Más Probable	13,0	13,8	14,7	14,2	14,3	15,7	16,9	17,4	17,9
Escenario Máximo	13,8	14,7	15,1	14,6	14,6	16,9	18,5	19,8	21,0

8.9 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – TOTAL (M³/SEG)

8.9.1 CASO PESIMISTA

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
12,960	14,191	15,758	15,558	16,814	19,571	21,786	23,514	23,586

8.9.2 CASO OPTIMISTA

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
13,045	13,585	14,828	14,249	14,207	15,996	17,196	17,669	18,018

8.10 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – POR PROCESO (M³/SEG)

8.10.1 CASO PESIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Concentrados	8,8	10,0	11,5	11,4	12,7	15,5	17,7	19,6	20,3
Cátodos SX-EW	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,0
Fund. Y Ref	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Otros	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,1

8.10.2 CASO OPTIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Concentrados	8,9	9,4	10,6	10,1	10,2	12,1	13,3	14,0	14,9
Cátodos SX-EW	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,0
Fund. Y Ref	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Otros	2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	2,3	2,4	2,2	1,9

8.11 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN ESTADO DE AVANCE (M³/SEG)

8.11.1 CASO PESIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Operación	12,9	12,9	13,2	12,5	12,1	11,8	11,4	10,6	9,3
En Ejecución	0,1	1,3	1,5	1,6	2,1	2,1	2,3	2,6	2,6
Factibilidad	0,0	0,0	1,1	1,5	2,6	5,2	7,7	9,5	10,4
Pre Factibilidad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3	0,9	1,2

8.11.2 CASO OPTIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Operación	13,0	12,9	13,2	12,5	12,1	11,8	11,4	10,6	9,3
En Ejecución	0,1	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3
Factibilidad	0,0	0,0	0,8	0,9	1,1	2,8	4,1	5,0	6,6
Pre Factibilidad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,8	0,8

8.12 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN CONDICIÓN (M³/SEG)

8.12.1 CASO PESIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Base	13,0	14,2	14,7	14,1	14,2	13,9	13,7	13,2	11,9
Probable	0,0	0,0	0,9	1,3	2,3	2,6	4,9	4,9	4,8
Posible	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	3,1	3,2	5,4	6,8

8.12.2 CASO OPTIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Base	13,1	13,6	14,0	13,4	13,1	12,8	12,7	11,9	10,6
Probable	0,0	0,0	0,8	0,9	0,9	1,2	2,5	2,5	2,7
Posible	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,9	2,0	3,3	4,7

8.13 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN ESCALA DE PRODUCCIÓN (M³/SEG)

8.13.1 CASO PESIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Gran Minería Estatal	5,4	5,7	6,0	6,2	7,0	7,1	7,0	6,3	6,4
Gran Minería Privada	7,3	8,2	9,3	8,9	9,2	9,9	12,0	13,7	14,2
Med Min Estatal	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Med Min Privada	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	1,3	1,2	1,2	1,0
Coproducto de la minería del Oro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,5	2,3	2,0

8.13.2 CASO OPTIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Gran Minería Estatal	5,5	5,7	6,0	6,1	5,9	5,8	5,7	5,1	5,0
Gran Minería Privada	7,3	7,5	8,5	7,9	7,9	8,2	9,7	10,0	10,4
Med Min Estatal	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Med Min Privada	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1,0	1,0	1,0	0,8
Coproducto de la minería del Oro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,8	1,6	1,7

8.14 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA – SEGÚN TIPO DE PROYECTO (M³/SEG)

8.14.1 CASO PESIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Operando	12,9	12,9	13,2	12,5	12,1	11,8	11,4	10,6	9,3
Reposición	0,0	0,0	0,9	1,1	1,0	1,0	2,2	2,8	3,7
Expansión	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0
Nuevo	0,1	1,3	1,6	1,9	3,5	6,5	7,6	9,5	9,7

8.14.2 CASO OPTIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Operando	13,0	12,9	13,2	12,5	12,1	11,8	11,4	10,6	9,3
Reposición	0,0	0,0	0,8	0,8	0,7	0,9	2,1	2,5	3,2
Expansión	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9
Nuevo	0,1	0,7	0,8	0,9	1,2	3,0	3,2	3,9	4,7

8.15 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA, REGIONAL (M³/SEG)

8.15.1 CASO PESIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tarapacá	1,74	1,67	1,87	1,83	1,78	1,76	2,62	3,02	3,02
Antofagasta	5,45	6,41	7,35	7,09	8,21	8,87	9,95	10,05	10,27
Atacama	1,36	1,81	1,97	2,04	2,10	4,19	4,54	5,74	4,90
Coquimbo	1,07	1,01	1,09	1,09	1,25	1,38	1,32	1,39	1,42
Valparaíso	1,10	1,11	1,15	1,18	1,18	1,12	1,17	1,17	1,84
O'Higgins	1,39	1,31	1,46	1,46	1,42	1,39	1,32	1,28	1,27
Metropolitana	0,80	0,82	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81
No Determinada	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03

8.15.2 CASO OPTIMISTA

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tarapacá	1,70	1,65	1,87	1,83	1,78	1,76	1,75	2,24	1,92
Antofagasta	5,57	5,75	6,55	5,95	5,80	6,23	7,52	7,04	7,30
Atacama	1,44	1,82	1,83	1,86	1,90	3,22	3,24	3,69	3,49
Coquimbo	1,06	1,06	1,09	1,09	1,25	1,39	1,35	1,34	1,39
Valparaíso	1,08	1,13	1,15	1,18	1,18	1,12	1,17	1,17	1,82
O'Higgins	1,36	1,36	1,46	1,48	1,44	1,41	1,29	1,33	1,25
Metropolitana	0,80	0,77	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81
No Determinada	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03

8.16 ESTIMACIÓN DE ESCENARIOS PARA LA DEMANDA ESPERADA DE AGUA DE MAR (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Escenario Mínimo	0,0	0,6	1,0	1,2	2,4	3,1	3,8	4,6	4,6
Escenario Más Probable	0,0	0,6	1,1	1,3	2,6	3,5	4,3	5,4	5,4
Escenario Máximo	0,0	0,8	1,4	1,5	3,1	4,3	5,3	6,7	6,7

8.17 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA DE AGUA DE MAR, TOTAL (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	0,000	0,683	1,152	1,332	2,611	3,566	4,370	5,239	5,381

8.18 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA DE AGUA DE MAR - SEGÚN TIPO DE PROYECTO (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Operando	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Expansión	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Reposición	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nuevo	0,0	0,7	0,9	1,0	2,4	3,3	4,1	5,0	5,1

8.19 PROYECCIÓN DEMANDA ESPERADA DE AGUA DE MAR – POR REGIÓN (M³/SEG)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tarapacá	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	0,84	0,85
Antofagasta	0,00	0,68	0,97	1,14	2,44	2,54	2,40	2,69	2,78
Atacama	0,00	0,00	0,18	0,20	0,17	1,02	1,19	1,71	1,74
Coquimbo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valparaíso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O'Higgins	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Metropolitana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
No Determinada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios por

CAMILA MONTES PRUNÉS
Analista Minero

MARIA CRISTINA BETANCOUR MUÑOZ
Directora de Estudios

Diciembre 2013