



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS ESTRATEGIAS DE SUMINISTRO DEL AGUA EN EL
ÁMBITO DE LA GRAN MINERÍA DEL COBRE EN CHILE 2000 – 2020**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN
DE EMPRESAS**

DAVID ANTONIO CARRASCO CELIS

PROFESOR GUÍA:

RODOLFO CAMACHO FLORES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JACQUES CLERC PARADA

FRANCISCO SOTO BAEZ

SANTIAGO DE CHILE

2024

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE:
MAGISTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS.
POR: DAVID ANTONIO CARRASCO CELIS
FECHA: 2024
PROFESOR GUÍA: RODOLFO CAMACHO FLORES**

ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS ESTRATEGIAS DE SUMINISTRO DEL AGUA EN EL ÀMBITO DE LA GRAN MINERÍA DEL COBRE EN CHILE 2000 – 2020

La competencia por el uso del agua ha alcanzado niveles sin precedentes en Chile en las últimas dos décadas, afectando profundamente la vida, el medio ambiente y la economía. Esta crisis hídrica, reconocida como uno de los principales riesgos globales, demanda atención urgente. Aunque la industria minera del cobre solo representa el 3% del consumo total de agua en Chile, enfrenta un desafío crucial para asegurar su suministro sin comprometer la producción. Es imperativo que estas empresas adopten estrategias a largo plazo para garantizar un crecimiento sostenible y mantener su responsabilidad social.

En respuesta a esta crisis, las compañías mineras han implementado soluciones innovadoras, como el uso de agua de mar, y han realizado inversiones significativas en tecnologías de desalinización y reutilización del agua. Desde la introducción del agua de mar en 2009 hasta 2020, el consumo de agua continental ha disminuido en un 43,65%, lo que evidencia la importancia de esta práctica para el futuro de la industria. Estas medidas no solo subrayan la urgencia de equilibrar el crecimiento económico con la conservación de los recursos hídricos, sino que también demuestran un compromiso firme con la sostenibilidad ambiental y el desarrollo comunitario.

El estudio reciente evaluó las estrategias de cinco empresas mineras: Escondida, Los Pelambres, Collahuasi, Quebrada Blanca y Los Bronces. Este análisis abarcó sus enfoques de abastecimiento de agua, los impactos económicos, las responsabilidades sociales y las consideraciones ambientales, destacando la necesidad de equilibrar el crecimiento económico con la conservación de los recursos hídricos para abordar los problemas de escasez que enfrenta la industria. Además, se proporcionaron detalles sobre cada empresa, incluyendo su historia, operaciones, compromisos de sostenibilidad y contribuciones sociales y económicas. Minera Escondida, en particular, se destaca como pionera en la adopción de tecnología de desalinización, liderando el camino en prácticas de gestión sostenible del agua. En cambio, Anglo American es la única de las 5 mineras en estudio que no optó por una desaladora y hoy ve los resultados de no haber tenido visión de futuro.

El documento resalta la importancia de la gestión sostenible del agua en la industria minera, la necesidad de soluciones innovadoras para enfrentar la escasez de agua y el papel crucial de la gestión responsable de los recursos hídricos para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones mineras en Chile.

AGRADECIMIENTOS.

Primero que todo, agradecido de la experiencia del MBA, de las personas que hicieron posible este camino, de mis colegas de las distintas faenas y de mi querido grupo PIÑAS. Son tremendos profesionales, mejores personas y seres humanos. Agradecer a mi querida amiga Carolina Hernández. Me saco el sombrero delante de esta mujer, porque aprendí mucho de ella y también de una super mujer, mi querida Cecilia Urzua, tremenda profesional, amiga y mucho mejor persona. De ellas aprendí mucho y recibí consejos que siempre llevaré.

En este camino también conocí a mi esposa, quien desde el primer momento me apoyó y estuvo conmigo, dándome aliento para seguir adelante y terminar el proceso que comencé. No fue fácil; hoy miro el camino recorrido y conocerla fue lo mejor que me pudo pasar en la vida. Hoy disfruto de este momento con ella y nuestra familia.

Agradecer a Rodolfo por la paciencia, los consejos y seguir hasta el final del camino. Hoy solo palabras de agradecimiento y espero contar contigo en la defensa de la tesis.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. MARCO CONCEPTUAL.....	2
3.1 Análisis estratégico	4
3.2 Análisis económico	7
3.3 Análisis social	7
3.4 Análisis medioambiental	8
4. METODOLOGÍA	9
4.1 Área de estudio.....	9
4.2 Métricas de comparación entre las mineras	9
5. LA INDUSTRIA MINERA INMERSA EN LA CRISIS HIDRICA.....	12
5.1 Introducción al problema hídrico.....	12
5.2 Mineras en estudio	13
6. DESCRIPCIÓN DE CADA MINERA EN ESTUDIO Y SU DESARROLLO EN EL CONTEXTO DE LA ESCASEZ HIDRICA.....	14
6.1 Desarrollo de minera Escondida en el contexto de escasez hídrica.....	14
6.1.1 Clasificación de fuentes de agua en minera Escondida	15
6.2 Desarrollo de Minera Los Pelambres en el contexto de escasez hídrica.....	17
6.2.1 Clasificación de fuentes de agua en minera Los Pelambres.....	18
6.3 Desarrollo de Minera Quebrada Blanca en el contexto de escasez hídrica.....	19
6.3.1 Los riesgos y oportunidades relacionados con el agua en minera Quebrada Blanca	20
6.3.2 Clasificación de fuentes de agua en minera Quebrada Blanca.....	21
6.4 Desarrollo de Minera Doña Inés de Collahuasi en el contexto de escasez hídrica.....	21
6.4.1 Clasificación de fuentes de agua Doña Inés de Collahuasi.....	22
6.5 Desarrollo de Minera Los Bronces en el contexto de escasez hídrica.....	23
6.5.1 Clasificación de fuentes de agua en Anglo American.....	24
6.6 Línea de tiempo de proyectos desaladoras para las cinco mineras en estudio..	25
6.7 Beneficios de la desaladora para la minería y medio ambiente de las cinco mineras en estudio.....	29

6.7.1 Beneficios y debilidades del uso de agua de mar para minera Escondida y su entorno	29
6.7.2 Beneficios y debilidades del uso de agua de mar para minera Los Pelambres y su entorno.....	32
6.7.3 Fortalezas y debilidades de la desaladora Doña Inés de Collahuasi y su entorno	34
6.7.4 Fortalezas y debilidades de la desaladora de minera Quedada Blanca y su entorno	37
6.7.5 Fortalezas y debilidades de la desaladora de la minera Los Bronces y su entorno	39
7. IMPACTO ECONÓMICO DE LAS DESALADORAS EN LA INDUSTRIA MINERA EN EL ESCENARIO DE LA ESCASEZ HIDRICA	41
7.1 Comparación económica de las mineras en estudio en consumo de agua de mar.....	42
7.1.2 Planta referencia	42
7.1.3 Análisis comparativo.....	45
7.1.4 Caso hipotético de inversión de las mineras en estudio, tal como lo hizo la minera Escondida.....	49
7.1.5 Caso minera Los Bronces	49
8. CONCLUSIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA	53
Anexo.....	57
Tipos de agua utilizados en minería y su definición	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Participación de la minería en el PIB, a precios corrientes (%), años 2007 - 2020.	3
Tabla 2 Análisis FODA enfocado a las cinco mineras de estudio	10
Tabla 3 Resumen de mineras en estudio	13
Tabla 4 Fuentes de agua 2008 a 2010	15
Tabla 5 Uso eficiente del agua	16
Tabla 6 Fuentes de agua 2018 a 2020 en miles de m ³	16
Tabla 7 Fuentes de agua 2008 a 2010 en miles de m ³	18
Tabla 8 Fuentes de agua 2008 a 2010 en miles de m ³	23
Tabla 9 Fuentes de agua 2009 a 2010 en miles de m ³	25
Tabla 10 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Escondida	30
Tabla 11 Aspectos destacables de la inversión de minera Escondida	32
Tabla 12 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Los Pelambres	33
Tabla 13 Aspectos destacables de la inversión minera Los Pelambres	34
Tabla 14 Fortalezas y debilidades de la desaladora para Doña Inés de Collahuasi	35
Tabla 15 Aspectos destacables de la inversión de Doña Inés de Collahuasi	36
Tabla 16 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Quebrada Blanca	37
Tabla 17 Aspectos destacables de la inversión de Teck	38
Tabla 18 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Los Bronces	40
Tabla 19 Comparación de las cinco mineras en estudio	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Descripción de etapas de procesos productivos mineros	5
Figura 2 Mapa de las mineras en Chile	11
Figura 3 Línea de tiempo desaladoras de las cinco mineras en estudio	25

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Participación de la minería en el PIB y precio del cobre, años 2007 - 2020	3
Gráfico 2 Uso de agua de mar en faenas mineras vs agua continental	6
Gráfico 3 Inversiones de cada minera llevado al año 2000	48

1. INTRODUCCIÓN

La competencia por el agua ha aumentado significativamente, afectando la vida, el medio ambiente y la economía. Este problema, considerado uno de los principales riesgos globales, requiere soluciones urgentes (Foro Económico Mundial, 2022). En este contexto, la industria minera del cobre enfrenta la necesidad de asegurar un suministro adecuado de agua para sus operaciones. Una estrategia de abastecimiento a largo plazo es crucial para evitar que el agua limite la producción y para fomentar un crecimiento sostenible alineado con las demandas sociales.

La gestión estratégica del agua es esencial para la viabilidad de las operaciones mineras. Además de satisfacer sus necesidades hídricas, la industria debe demostrar compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social, lo que contribuye a una gestión equitativa de este recurso. Entre 2000 y 2020, Chile experimentó un crecimiento del 19.7% en la producción de cobre, lo que incrementó la demanda de agua, especialmente en procesos de concentración e hidrometalurgia (Dirección de Estudios y Políticas Públicas, 2015). Las compañías mineras han implementado diversas estrategias para asegurar el suministro de agua, equilibrando sus necesidades con las expectativas sociales sobre la gestión de recursos hídricos.

Cada empresa ha adoptado enfoques únicos para enfrentar estos desafíos, lo que ha influido en su rendimiento operativo. Las inversiones en gestión del agua han permitido a algunas compañías aumentar o mantener su producción, reduciendo costos y mejorando su competitividad. En contraste, aquellas que no tomaron decisiones estratégicas enfrentaron dificultades y costos elevados.

Aunque la minería consume una cantidad significativa de agua, esta solo representa el 3% del suministro total en Chile (Atlas del Agua, 2017). Sin embargo, muchas operaciones se encuentran en zonas con escasez hídrica, lo que limita su desarrollo. El cambio climático y la sequía en Chile amenazan todos los sectores productivos y plantean desafíos para la salud y productividad de la minería, pero también ofrecen oportunidades para la innovación tecnológica.

La innovación puede reducir la huella de carbono y mejorar la eficiencia en la minería, abriendo nuevos mercados y mejorando la reputación de las empresas. La creciente demanda global de materias primas subraya la necesidad de gestionar eficazmente el consumo y la recirculación del agua en los procesos mineros. Adaptarse a las condiciones cambiantes y adoptar enfoques sostenibles serán clave para el futuro de la minería en Chile y en el mundo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de cinco compañías mineras seleccionadas, destacando los tipos de agua utilizados en sus procesos, las estrategias de control de costos asociadas al consumo hídrico, y el impacto de sus estrategias de suministro de agua en los ámbitos ambiental, comunitario y económico desde el año 2000 hasta 2020.

2.2 Objetivos específicos

1. Describir en detalle la estrategia de suministro de agua en cada una de las 5 empresas que se analizarán, identificar la línea de tiempo, decisiones e inversiones materializadas.

2. Determinar y analizar los costos del consumo de agua en el proceso de las 5 mineras y establecer el costo del agua según las fuentes y volúmenes involucrados

3. Analizar cómo influye la desaladora en los procesos mineros, beneficios asociados al proceso y medio ambiente.

4. Determinar el índice de efectividad de la estrategia de suministro aplicada en las cinco compañías mineras. Este análisis incluirá una evaluación económica, una valoración de riesgos asociados y estimaciones al valor actual en relación con el consumo de agua.

3. MARCO CONCEPTUAL

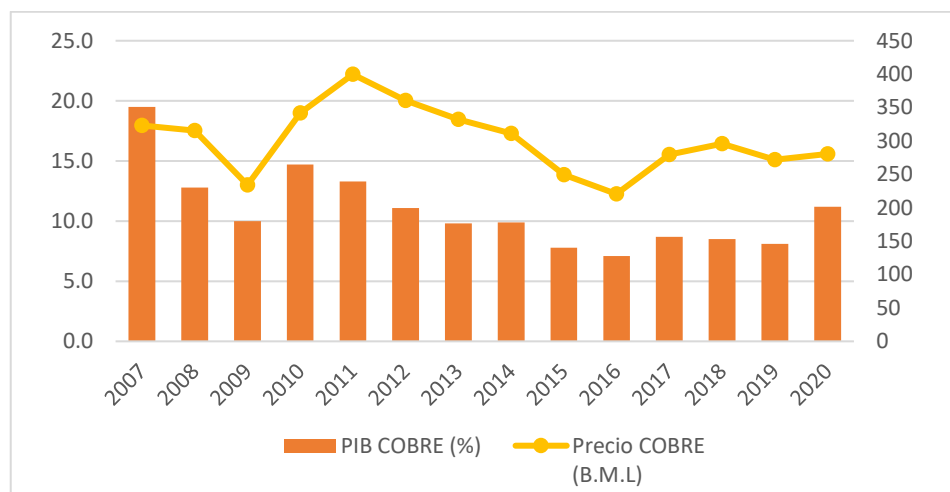
La industria minera es altamente intensiva en capital y en consumo de recursos (tecnología, hídricos, suministros y mano de obra). Desde el punto de vista económico, es una ventaja respecto al resto de las industrias, porque ayuda al crecimiento de las empresas que prestan sus servicios y ofrece oportunidades a las comunidades aledañas a las mineras, dado que el intercambio entre los diferentes sectores productivos trae consigo múltiples beneficios, lo que incrementa la dinámica económica y social. “Esto se ve reflejado en el aporte de la minería al PIB de 11.2% en el año 2020, y durante el año 2007 y 2020 representó un 10.9% de los ingresos fiscales del país” (Banco Central de Chile, 2020). A continuación, se muestra la tabla N°1 y el gráfico N°1, participación de la minería en el PIB a precio corriente (%), años 2007 al 2020.

Tabla 1 Participación de la minería en el PIB, a precios corrientes (%), años 2007 - 2020.

Años	PIB minería/PIB nacional (%) 1	PIB COBRE (%)	PIB resto de minería (%)	Precio COBRE (B.M.L) 2
2007	20,5	19,5	1,0	323,2
2008	14	12,8	1,2	315,3
2009	13	10,0	3,0	234,2
2010	15,9	14,7	1,2	342
2011	14,8	13,3	1,5	399,7
2012	12,5	11,1	1,4	360,6
2013	11	9,8	1,2	332,1
2014	10,9	9,9	1,0	311,3
2015	8,6	7,8	0,8	249,2
2016	8,1	7,1	1,0	220,6
2017	9,7	8,7	1,0	279,7
2018	9,5	8,5	1,0	295,9
2019	9,1	8,1	1,0	272,1
2020	12	11,2	0,8	280,4

Fuente: (1) Banco Central de Chile, (2) Cochilco

Gráfico 1 Participación de la minería en el PIB y precio del cobre, años 2007 - 2020



Fuente: (1) Banco Central de Chile, (2) Cochilco

El uso del agua es intensivo en la minería y debe gestionarse de forma correcta para el procesamiento de mineral. Se debe destacar que el uso del agua en la industria minera representa solo el 3% del consumo de agua total, el mayor consumidor de agua es el sector agrícola, con un 72% del recurso hídrico. La minería a nivel nacional compete por el recurso hídrico con la agricultura y el consumo humano, lo que incrementa el conflicto y la tensión que hoy existe por el uso/consumo de agua. Algunos de los conflictos asociados al uso del agua por la minería son:

- ❖ **Competencia por el agua:** En muchas regiones, la minería compete con otros sectores por el uso del agua, como la agricultura, la industria y el abastecimiento de agua potable para las comunidades. Esto puede generar conflictos entre diferentes

sectores y comunidades que dependen del agua para sus necesidades básicas. La priorización del acceso al agua y la distribución equitativa se convierten en temas de debate y tensión en estas situaciones.

- ❖ **Escasez de agua:** La minería demanda grandes volúmenes de agua para sus operaciones, como el procesamiento de minerales y el control de polvo. En regiones donde el agua ya es escasa, el uso intensivo de este recurso por parte de la industria minera puede empeorar la situación, reduce la disponibilidad de agua para las comunidades locales, la agricultura y otros sectores.
- ❖ **Agotamiento de acuíferos:** La minería también utiliza cantidades significativas de agua subterránea para llevar a cabo sus operaciones. Esto puede provocar la disminución del nivel de los acuíferos y la reducción del caudal de los ríos y arroyos cercanos, lo que afecta la disponibilidad de agua dulce en el área. Lo que provoca malestar en las comunidades aledañas y por consiguiente las denuncias y conflictos entre las partes.

En los puntos antes mencionados, los conflictos entre las comunidades y la minería pueden escalar aún más profundo que los límites legales establecidos, esto se debe a malentendidos que producen las peticiones de las comunidades y hasta donde está dispuesta a ceder la minera para cumplir esas peticiones.

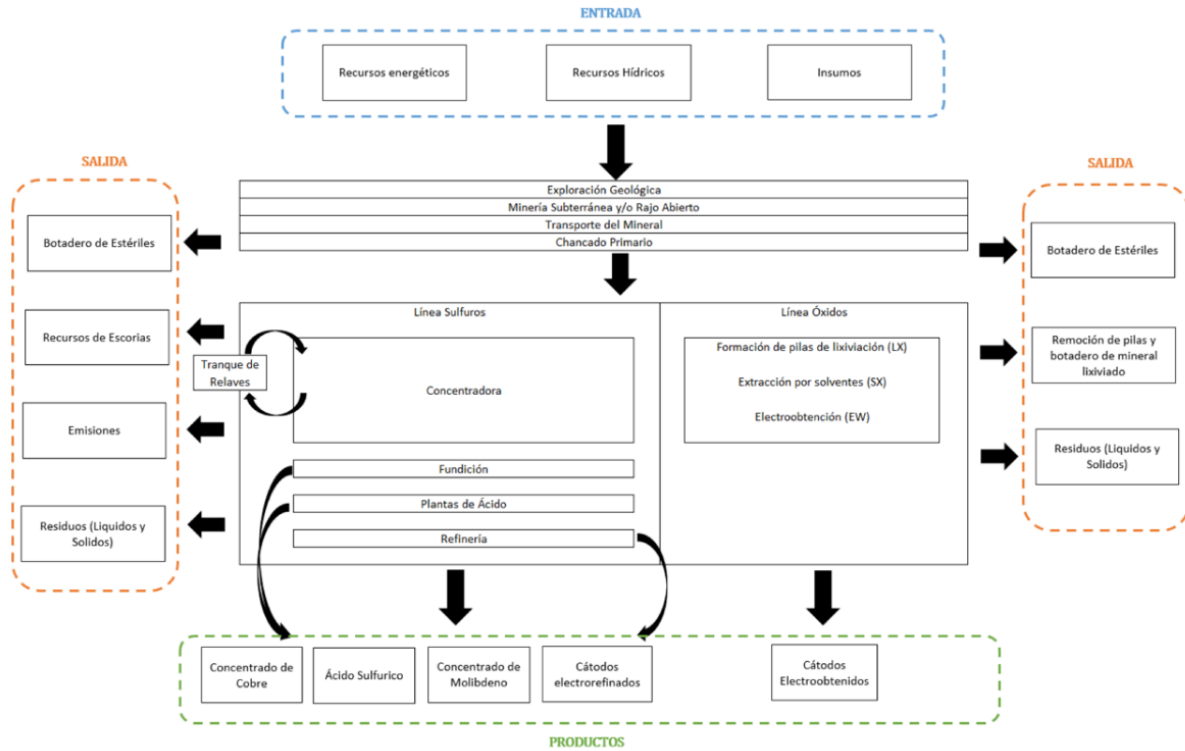
Chile es un país minero, de eso no cabe duda, pero el rubro tiene una mala reputación a nivel nacional. Esto se debe a que la minería es intensiva en consumo de recursos naturales (agua, energía, minerales), los cuales hoy en día son insuficientes, debido a la sobre explotación y a la escasez hídrica que atraviesa Chile. Esto es complementado por las malas políticas y/o la poca contribución del gobierno a mejorar los estándares actuales con leyes más rigurosas. De acuerdo con el contexto actual y la mega sequía que atraviesa el país, y luego de dos décadas de crecimiento de la minería, donde el recurso hídrico se ha vuelto indispensable para las operaciones.

3.1 Análisis estratégico

En décadas pasadas, la industria minera solía centrarse en la generación de empleo, el apoyo a las comunidades locales y el pago de impuestos al Estado como parte de su contribución a la sociedad. En la actualidad, debido a las nuevas políticas y el crecimiento del activismo social y ambiental, muchos ejecutivos de compañías mineras reconocen la necesidad de ir más allá de estas prácticas tradicionales. Esto es especialmente relevante en medio de los crecientes conflictos relacionados con el recurso hídrico, que afectan tanto a la industria minera como a otros sectores como la agricultura y el consumo humano.

El agua se erige como un recurso de vital importancia para la industria minera. Es el componente esencial en el procesamiento de minerales. En este contexto, la minería hace uso del agua en diversas actividades, que abarcan desde el procesamiento de los minerales en sí hasta los servicios adicionales relacionados. La figura 1 brinda una descripción concisa de cómo se utiliza el agua en este proceso minero.

Figura 1 Descripción de etapas de procesos productivos mineros

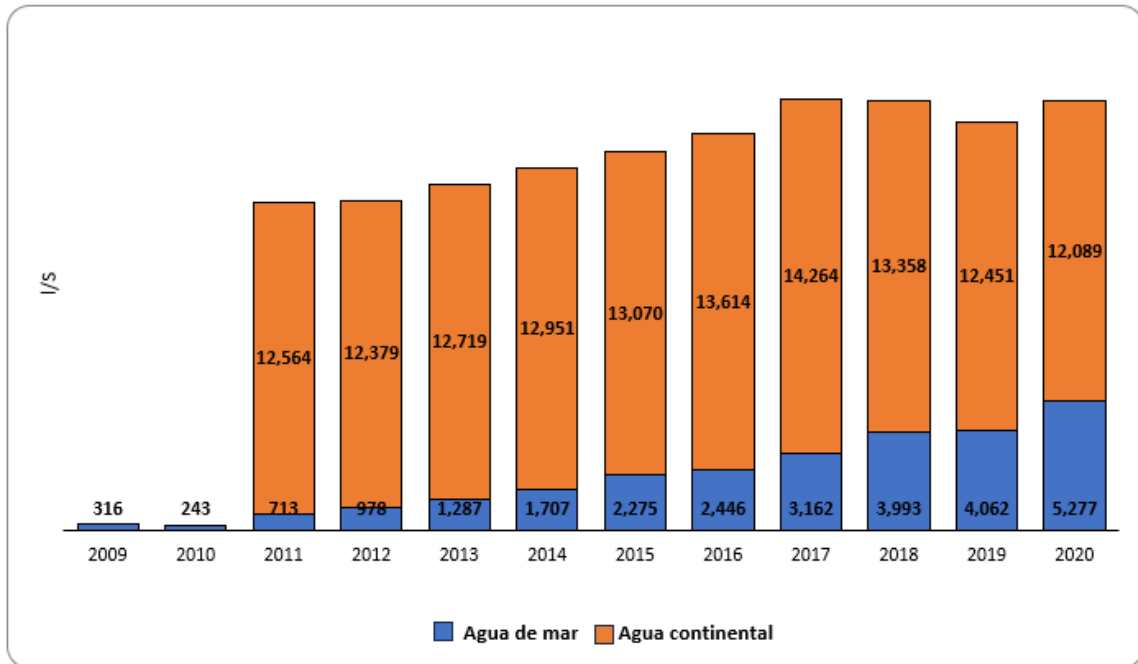


Fuente: Elaborado por Deep y Cochilco

El enfoque estratégico del presente estudio puede ayudar a identificar oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso del agua, reducir los riesgos asociados con la disponibilidad de recursos hídricos y avanzar hacia prácticas aún más sostenibles en la industria minera.

Desde el año 2000, la innovación tecnológica ha desempeñado un papel fundamental en la reducción del consumo de agua en la minería. Esta innovación ha aumentado la recuperación de agua, facilitado la introducción de agua de mar en las operaciones y reducido el uso de agua subterránea y superficial. “Desde 2009, se diversificó el uso del agua en la minería con la introducción de agua de mar en pequeños volúmenes. Se demostró que es viable, a largo plazo, migrar al uso exclusivo de agua de mar en la zona norte de Chile” (Informe Cochilco, 2012). Este avance reduce la dependencia de los recursos hídricos locales y minimiza el impacto en los ecosistemas de agua dulce cercanos. Además, garantiza un suministro constante de agua para la minería, incluso en épocas de sequía y escasez de agua dulce, lo que reduce la necesidad de adquirir agua a terceros. Esto se refleja en el siguiente gráfico.

Gráfico 2 Uso de agua de mar en faenas mineras vs agua continental



Fuente: Cochilco

Como se muestra en el gráfico anterior, el uso de agua de mar en la minería ha experimentado un notable aumento en las últimas décadas. Este incremento puede atribuirse en gran medida a los efectos del cambio climático que afectan a nivel global y que Chile no ha sido ajeno a experimentar. El cambio climático ha ejercido presión sobre la industria, obligándola a buscar innovaciones en sus procesos. Si bien estas innovaciones pueden conllevar costos adicionales, se han vuelto necesarias para mantener operaciones sostenibles.

En este contexto, las palabras del presidente ejecutivo de Anglo American PLC., Mark Cutifani, resuenan poderosamente: “El statu quo de la minería no era sostenible y la industria necesita moverse más allá de lo que pensábamos anteriormente como la forma en que la minería agrega valor” (2018). Esta declaración se refiere a los costos, la seguridad y la producción de la minería, también a la responsabilidad social y ambiental y su impacto en las comunidades circundantes.

A medida que los impactos del cambio climático se hacen más evidentes, los gobiernos y las organizaciones internacionales están más rigurosas con las regulaciones ambientales. Esto puede implicar restricciones más estrictas en las emisiones de gases de efecto invernadero y otras actividades relacionadas con la minería, lo que podría aumentar los costos operativos y las demandas para las empresas mineras.

3.2 Análisis económico

El uso de agua de mar en las operaciones mineras ha tenido un impacto significativo en los costos y en la sostenibilidad de las empresas. Este análisis se centra en los beneficios económicos que se derivaron de la migración hacia el uso de agua de mar, así como en las consecuencias para aquellas empresas que no adoptaron esta práctica entre 2000 y 2020.

Criterios de estudio:

- ❖ **Beneficios durante la sequía:** La utilización de agua de mar ha permitido a las faenas operar de manera continua durante períodos de sequía. Esto ha influido positivamente en la producción de las empresas, asegurando que la falta de recursos hídricos no interrumpa sus actividades.
- ❖ **Aumento de agua continental para comunidades y agricultura:** Al migrar al uso de agua de mar, se ha liberado agua dulce para el uso de comunidades locales y el sector agrícola, eliminando el riesgo de disminución de producción debido a la escasez de este recurso vital.
- ❖ **Incentivos gubernamentales:** El uso de agua de mar ha sido respaldado por nuevas políticas gubernamentales que ofrecen incentivos y subsidios. Estas medidas han fomentado la adopción de esta práctica en lugar de depender del agua continental.
- ❖ **Costos comparativos del agua:** Es crucial cuantificar y comparar el costo del agua de mar frente al agua dulce. Analizaremos el precio relativo de ambos recursos y cómo esta variable ha influido en la decisión de las empresas mineras de adoptar el agua de mar o continuar con el uso de agua dulce.

3.3 Análisis social

La decisión de utilizar el agua de mar en la minería puede ser determinante para la aceptación social, apoyo de las comunidades locales y mejora de la opinión pública. Si la comunidad percibe el uso de agua de mar como una medida responsable y sostenible, es más probable que apoye el proyecto minero y que se reduzcan las tensiones sociales o conflictos asociados al uso de recursos hídricos. Otros puntos por mencionar son los siguientes:

- ❖ **Responsabilidad social corporativa:** La disposición de la empresa minera para abordar las preocupaciones sociales y su compromiso con prácticas de responsabilidad social corporativa pueden influir positivamente en la percepción pública y la actitud hacia el uso de agua de mar.
- ❖ **Cumplimiento de regulaciones y estándares:** Es fundamental el cumplimiento de las normativas ambientales y los estándares de calidad del agua, los que pueden generar confianza en la comunidad en cuanto al manejo responsable y seguro del recurso hídrico. El cumplimiento de los requisitos legales y la adopción de prácticas responsables pueden ayudar a mejorar la aceptación social para todo el rubro minero.

- ❖ **Beneficios económicos y empleo local:** La generación de empleo y los beneficios económicos para la comunidad local pueden influir en la actitud hacia el uso de agua de mar en la minería. Si el proyecto minero promete oportunidades laborales y desarrollo económico en la región, es más probable que la comunidad lo apoye.

Estos beneficios se reflejan en el “bienestar social y en la aprobación de las comunidades, como lo indica la Encuesta de Bienestar Social (EBS)” (Ministerio de Desarrollo Social y Familiar, 2021). Al proporcionar información, cumplir con las regulaciones y fomentar el empleo local, las empresas mineras pueden aumentar su aprobación y evitar conflictos con su entorno y las localidades cercanas.

3.4 Análisis medioambiental

El uso de agua de mar en la minería está condicionado por diversos factores ambientales que son esenciales para el correcto desarrollo de los procesos mineros. El incumplimiento de las normativas vigentes en este ámbito puede resultar en el cierre o suspensión de las operaciones. A continuación, se enumeran algunos puntos clave a considerar:

- ❖ **Preservación de ecosistemas locales:** La utilización de agua de mar en lugar de agua dulce contribuye a la conservación de los ecosistemas circundantes a las faenas mineras y a las instalaciones de desalación. Esto es especialmente relevante cuando la minería compite por el uso de agua dulce con otras actividades, como la agricultura o el abastecimiento de agua potable para comunidades, así como otros servicios esenciales.
- ❖ **Disponibilidad de tecnologías de desalinización:** La eficacia y la disponibilidad de tecnologías de desalinización son factores determinantes en la adopción de agua de mar en las operaciones mineras. Si estas tecnologías son avanzadas y económicamente viables, facilitan un uso sostenible del agua de mar, optimizando el proceso minero.
- ❖ **Impacto en los ecosistemas marinos:** Aunque el uso de agua de mar puede aliviar la presión sobre los ecosistemas de agua dulce, es crucial evaluar los posibles efectos ambientales en los ecosistemas marinos locales. La extracción de grandes volúmenes de agua de mar y el retorno de aguas residuales pueden afectar la fauna marina y los ecosistemas costeros, lo que requiere una evaluación y mitigación adecuadas para minimizar el impacto ambiental.

4. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará es la recopilación de datos, depuración de datos, su clasificación/tabulación y realización de análisis comparativos de las distintas mineras en estudio. Al finalizar el estudio se entregará información relevante del consumo de agua de acuerdo con los siguientes puntos.

- ❖ Recopilación de datos de las mineras y de los datos principales de minería en Chile.
- ❖ Análisis de datos con las distintas herramientas que existen.
- ❖ Resultados principales del estudio.
- ❖ Conclusiones, recomendaciones y comentarios.

4.1 Área de estudio

El estudio abarcará a las cinco mineras descritas: Escondida, Los Pelambres, Collahuasi, Quebrada Blanca y Los Bronces. Cada una de las operaciones mineras está ubicada en zonas sensibles por el déficit hídrico que afecta a Chile.

Las 4 primeras se ubican en el norte del país, mientras que la minera Los Bronces se ubica en la zona centro y capital de Chile.

4.2 Métricas de comparación entre las mineras

Al estudiar y analizar los informes de sustentabilidad de las mineras en cuestión, se identificaron métricas importantes que son comunes a todas ellas. A continuación, se presentan algunos ejemplos de estos puntos medibles:

1. **Sostenibilidad y responsabilidad social:** Compara las prácticas de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa para evaluar el compromiso de las empresas con el tema social.
2. **Responsabilidad ambiental:** Compara las medidas y políticas de sustentabilidad y mitigación del impacto ambiental entre empresas para evaluar su compromiso con la responsabilidad ambiental.
3. **Eficiencia en consumo de agua:** Evalúa la cantidad de agua utilizada por unidad de producción entre las diferentes empresas para medir su eficiencia hídrica y los costos asociados a transporte, desalación, compra de agua a terceros.

Para llevar a cabo el análisis, se utilizarán todas las métricas mencionadas en una escala de 1 a 1. Esto permitirá evaluar la eficiencia de cada empresa y realizar una comparación efectiva sobre cómo su operación impacta en la zona donde se encuentran ubicadas. Además, se llevará a cabo un análisis FODA de cada una de ellas, siguiendo el ejemplo a continuación.

Tabla 2 Análisis FODA enfocado a las cinco mineras de estudio

Aspectos Negativos	Análisis Interno	Análisis Externo
	DEBILIDADES	AMENAZAS
	Altos costos energéticos	Aumento del royalty
	Dependencia del mineral	Volatilidad del precio
	Dependencia de agua continental	Competencia instancia en el sector
	Alta tasa de accidentes	Alta rotación de personal
	Tecnologías antiguas	Riesgo geopolítico en las regiones de operación
	Problemas con el cumplimiento ambiental	Escasez del recurso hídrico
	Impacto negativo de la reputación (económico, ambiental, social)	
Aspectos positivos	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
	Recursos mineros	Aumento del precio de Cu (últimos 2 años)
	Recursos de personas	Nuevas tecnologías
	Experiencia y conocimiento	Expansión de nuevos mercados
	Eficiencia en costos operáticos	Cambios regulatorios favorables
	Relaciones solidad con las comunidades	Alianza estratégica con empresas colaboradoras
	Relaciones solidad con el gobierno	Enfoque en la sostenibilidad y responsabilidad social

Fuente: Elaboración propia

Una vez que haya identificado las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, se realizará un análisis cruzado para identificar posibles estrategias de las cinco mineras en estudio. Esto implica combinar fortalezas con oportunidades para determinar cómo aprovecharlas, así como abordar cómo mitigar las debilidades en el contexto de las amenazas. Basado en el análisis cruzado, se realizará una métrica adecuada, de cómo las mineras estaban en el año 2000 y de cómo avanzaron en las dos décadas siguientes de acuerdo con las nuevas regulaciones y tecnologías.

Figura 2 Mapa de las mineras en Chile



Fuente: Consejo Minero de Chile

5. LA INDUSTRIA MINERA INMERSA EN LA CRISIS HIDRICA

5.1 Introducción al problema hídrico

El cambio climático ha dejado una profunda huella en el mundo, lo que desató desafíos implacables, que han impactado a diversas industrias a nivel global, especialmente en Chile. En este contexto, las empresas han tenido que reevaluar y ajustar sus métodos de producción para adaptarse a una realidad en la que el agua, un recurso esencial, se ha vuelto cada vez más escasa. Esta situación se ha vuelto especialmente crítica en Chile, donde la escasez hídrica en las regiones del norte y centro del país ha planteado desafíos significativos para la industria minera.

Conscientes de la necesidad de adaptarse, las principales mineras han explorado nuevas fuentes de agua para sus operaciones. Una de las soluciones más destacadas ha sido la utilización de agua de mar en sus procesos. Además, han invertido en tecnologías avanzadas de desalinización y en la reutilización eficiente del agua en distintos procesos industriales. Estos esfuerzos reflejan una respuesta positiva a la crisis hídrica y demuestran el compromiso de la industria con la sostenibilidad ambiental.

No obstante, esta adaptación ha implicado desafíos y consecuencias adicionales. La disminución de la disponibilidad de agua dulce ha generado una creciente preocupación sobre la sostenibilidad de la minería en el país. “Las leyes de mineral, que determinan la cantidad de mineral extraído, han mostrado una tendencia a la baja en la última década, con una reducción promedio del 11% entre 2012 y 2020” (Informe Cochilco, 2020). Esta situación plantea una paradoja: aunque la producción de cobre ha aumentado en aproximadamente un 9% durante el mismo período, la necesidad de procesar más mineral y, por lo tanto, de consumir más agua para mantener los niveles de producción de la década de 2000 sigue elevada.

Esta situación presenta desafíos adicionales para la industria minera, también para las comunidades y el país en su conjunto. Encontrar un equilibrio entre el crecimiento económico y la preservación de los recursos se ha convertido en una tarea apremiante. Aunque la industria ha avanzado en la dirección correcta al implementar soluciones tecnológicas y de gestión, aún queda mucho por hacer para satisfacer las necesidades de agua y garantizar un futuro sostenible tanto para la minería como para las comunidades afectadas por la escasez hídrica.

5.2 Mineras en estudio

Breve presentación de las cinco mineras seleccionadas en la siguiente tabla, resumen de su historia y funcionamiento.

Tabla 3 Resumen de mineras en estudio

Minera	Ubicación	Historia	Operación Principal	Compromiso en Sostenibilidad y Responsabilidad Social	Impacto Económico
Los Bronces	Región Metropolitana	Década de 1970	Extracción y Procesamiento de Cobre	Enfoque en Sostenibilidad y Responsabilidad Social	Contribuye al Empleo Local y a la Economía
Escondida	Región de Antofagasta	Inaugurada en la década de 1990	Extracción y Procesamiento de Cobre	Compromiso con la Sostenibilidad y la Comunidad	Importante Contribución a la Economía
Los Pelambres	Región de Coquimbo	Comenzó en la década de 1990	Extracción y Procesamiento de Cobre y Molibdeno	Enfoque en Sostenibilidad y Desarrollo Comunitario	Generación de Empleo y Desarrollo Regional
Quebrada Blanca	Región de Tarapacá	Desarrollada en la década de 1980	Extracción y Procesamiento de Cobre	Compromiso con la Sostenibilidad y la Comunidad	Contribuye al Desarrollo Local
Collahuasi	Región de Tarapacá	Operativa desde la década de 1990	Extracción y Procesamiento de Cobre	Enfoque en la Sostenibilidad y la Responsabilidad Social	Importante para la Economía Nacional

Fuente: Elaboración propia

La tabla presenta un pequeño resumen de la historia de las cinco mineras en estudio, para identificar el contexto de cada una y su ubicación a nivel en el territorio chileno.

Las compañías mineras que se analizan desempeñan un papel esencial en la industria minera de Chile y ejercen una influencia significativa en la economía del país. Cabe destacar que todas estas empresas han demostrado un fuerte compromiso tanto con la sostenibilidad como con la responsabilidad social en el desarrollo de sus operaciones.

Las empresas mineras son fundamentales para las economías regionales, ya que generan empleo en áreas donde la minería es una fuente crucial de sustento. Además, respaldan la infraestructura local y otros sectores económicos. Contribuyen a los ingresos fiscales a través de impuestos y regalías, que financian proyectos en educación, salud y otros servicios públicos. Su presencia ha reducido la pobreza en regiones desfavorecidas; lo que mejora la calidad de vida, mediante la creación de empleos y el desarrollo de infraestructura comunitaria como hospitales y carreteras.

Estas mineras han demostrado un firme compromiso con la promoción de la igualdad de género. Han trabajado activamente para aumentar la participación femenina en sus operaciones, lo que fomenta la igualdad de género, y también enriquece la industria minera con diversidad y talento. En particular, BHP Escondida ha liderado en este aspecto, al contar con la mayor cantidad de empleadas en todas las áreas de trabajo.

La empresa ha impulsado y desarrollado la fuerza laboral femenina en la industria minera. Lo que destaca como un ejemplo de avance en la inclusión y equidad de género.

6. DESCRIPCIÓN DE CADA MINERA EN ESTUDIO Y SU DESARROLLO EN EL CONTEXTO DE LA ESCASEZ HIDRICA

6.1 Desarrollo de minera Escondida en el contexto de escasez hídrica

Minera Escondida adoptó una visión a largo plazo al reconocer el cambio climático como una realidad permanente. Fue la primera minera en Chile en comprender que no avanzar hacia soluciones sostenibles la dejaría atrás en la industria. Esta visión impulsó el desarrollo de un proyecto pionero en el país: la construcción de plantas desalinizadoras.

La decisión de dejar de extraer agua del Salar de Punta Negra y depender exclusivamente de agua desalinizada en sus operaciones, ha sido posible gracias a una inversión constante de la empresa en infraestructura de desalinización a lo largo de los últimos 15 años. Esta inversión se centró en la tecnología, también en mejoras operativas que han reducido de manera significativa el consumo de agua por tonelada de mineral procesado.

La visión estratégica de minera Escondida y su compromiso con la sostenibilidad han sido factores clave en la transición hacia una operación más amigable con el medio ambiente. Esta decisión garantiza la continuidad de sus operaciones, y también demuestra un liderazgo en la adaptación al cambio climático y en la promoción de prácticas responsables en la industria minera. “Un hito significativo en esta evolución fue el establecimiento de la primera planta desalinizadora de 525 l/s en 2006. En 2017, minera Escondida inauguró una segunda planta con una capacidad de 2.500 l/s” (Escondida Pone Fin a la Extracción de Agua de Acuíferos Altoandino, 2020) y al mismo tiempo, concluyó la extracción de agua desde el Salar de Punta Negra. A fines de 2019, finalizó un proyecto de expansión que incrementó su capacidad de producción de agua desalinizada a 3.800 l/s.

Esta determinación se basa en la política de BHP en cuanto a la gestión responsable del agua, así como, en la considerable inversión realizada en el desarrollo de la desalinización en minera Escondida. Además, se sustenta en diálogos sostenidos con la comunidad de Peine, respaldados por el consejo de pueblos Atacameños.

Con la retirada del proyecto Monturaqui, minera Escondida y sus propietarios, BHP, Río Tinto y JECO, reafirman su compromiso con el desarrollo de una minería ambiental y socialmente sostenible. Lo que busca generar valor social en las áreas donde operan, y subrayan su determinación de desempeñar un papel destacado en la adaptación al cambio climático, considerándolo una prioridad estratégica.

Este cambio en la fuente de suministro de agua es un paso importante hacia una minería más sostenible y socialmente responsable, que considera la escasez hídrica y la preservación del entorno como aspectos fundamentales de su operación.

6.1.1 Clasificación de fuentes de agua en minera Escondida

El acceso a agua de calidad representa un desafío global y un elemento clave en el desarrollo sostenible de minera Escondida, ya que las operaciones se desarrollan en entornos remotos y áridos, donde el acceso al recurso hídrico es limitado. Ante esta realidad, están comprometidos en la búsqueda constante de oportunidades para la reutilización y reciclaje del agua, “al mismo tiempo que promueven su uso eficiente y la gestión responsable de las aguas residuales” (Reporte Sustentabilidad Escondida, 2010).

Minera Escondida colabora estrechamente con las comunidades vecinas para entender y gestionar de manera conjunta las necesidades comunes de agua. En este sentido, minera Escondida estableció planes de gestión del recurso hídrico que incluyen requisitos y controles destinados a reducir su consumo. La visión es preservar la calidad y disponibilidad del agua en las zonas en que opera; además, fortalecer la responsabilidad ambiental y social, y garantizar el uso sostenible de este recurso esencial. En la actualidad, las necesidades de minera Escondida en particular son cubiertas por:

- ❖ Agua fresca subterránea proveniente del Salar de Punta Negra, campo de pozos en Monturaqui y desagüe de mina.
- ❖ Aguas de proceso recuperadas desde los espesadores y desde el tranque de relaves de Laguna Seca.
- ❖ Planta desalinizadora de agua de mar, cuya capacidad instalada es de 500 l/s.

A continuación, se ve en la siguiente tabla el uso de agua de minera Escondida entre el periodo de 2008 al 2010.

Tabla 4 Fuentes de agua 2008 a 2010

Agua fresca	2008		2009		2010	
	Consumo m ³	%del total	Consumo m ³	%del total	Consumo m ³	%del total
Monturaqui y Salar de Punta Negra	52,747,084	73.31%	50,725,559	76.93%	51,107,363	80.97%
Desagüe Mina y Hamburgo	12,903,996	17.93%	11,153,396	16.92%	7,838,674	12.42%
Desaladora	6,301,015	8.76%	4,057,327	6.15%	4,176,107	6.62%
Total	71,952,095	100%	65,936,282	100%	63,122,144	100%

Fuente: Reporte sustentabilidad 2010, minera Escondida

Cabe destacar que en 2010 el 36,48% del consumo hídrico de minera Escondida correspondió a agua reciclada. Así mismo, la compañía está actualmente reevaluando la capacidad de los acuíferos que la abastecen. En la siguiente tabla se muestra el uso eficiente del agua.

Tabla 5 Uso eficiente del agua

Recuperación de agua	2009	2010
Volumen de agua Reciclada Tratada		
Efluentes de plantas de tratamientos de aguas servidas	1,061,145	972,484
Volumen de agua Reciclada no Tratada		
Recuperación de agua claras/ (tranque de relave)	22,618,159	22,054,650
Volumen total de agua reciclada reutilizada (m3)	23,679,304	23,027,134
Porcentaje de agua reutilizada respecto del agua fresca	35.91%	36.48%

Fuente: Reporte sustentabilidad 2010, minera Escondida

La evolución del uso del agua de minera Escondida entre 2010 y 2020 ha atraído atención debido a la creciente conciencia sobre la gestión sostenible de los recursos hídricos y la necesidad de reducir el impacto ambiental de la faena, especialmente por el estrés hídrico de la región.

La estrategia hídrica, actualizada en 2019, se centra en transformar las fuentes de abastecimiento de agua; abandonó la extracción de aguas continentales y dio prioridad a la utilización de agua desalinizada. “En línea con esta estrategia, en 2020 se inició el Análisis Situacional de Agua, una iniciativa destinada a identificar los desafíos relacionados con el agua en las áreas donde minera Escondida interactúa con este recurso” (Reporte de Sustentabilidad Escondida, 2020). En este contexto, minera Escondida hizo esfuerzos significativos y comenzó a operar al 100% con agua desalinizada tras la decisión de cesar la extracción de acuíferos Altoandinos. Minera Escondida ahora se abastece en su totalidad con agua desalinizada, mantiene su liderazgo de más de 15 años en desalinización, con una inversión que supera los US\$4.000 millones. A continuación, se muestra en la tabla la evolución del uso de agua de mar como principal recurso de agua fresca.

Tabla 6 Fuentes de agua 2018 a 2020 en miles de m³

Agua fresca	2018		2019		2020	
	Consumo m ³	% del total	Consumo m ³	% del total	Consumo m ³	% del total
Monturaqui	41,627	23.78%	40,874	23.07%	0	0.00%
Salar de Punta Negra	371	0.21%	373	0.21%	390	0.18%
Hamburgo	2,157	1.23%	1,934	1.09%	1,687	0.76%
Desagüe mina	2,828	1.62%	1,948	1.10%	1,757	0.79%
Agua de mar	127,392	72.78%	131,425	74.17%	215,406	97.45%
Agua fondo mina	674	0.39%	630	0.36%	1,801	0.81%
Total	175,049	100%	177,184	100%	221,041	100%

Fuente: Reporte sustentabilidad 2020, minera Escondida

Minera Escondida se destaca como un ejemplo a seguir en la industria, ya que demostraron visión y liderazgo al invertir en desalinizadoras en tiempos de prosperidad para la minería. Reconocieron la urgencia del cambio climático y la escasez de agua, tomaron medidas proactivas para garantizar su competitividad a largo plazo. Han establecido un estándar en la industria al demostrar que las buenas prácticas y las iniciativas sostenibles son beneficiosas a mediano y largo plazo.

“Un hito clave a destacar es la decisión de retirarse del proceso de tramitación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Monturaqui en 2020, que buscaba extender la extracción de agua del acuífero del Salar de Atacama en 428 l/s. Esta acción fue precedida por la cesación de la extracción de los pozos en el acuífero Monturaqui el 31 de diciembre de 2019. Este acto demuestra el compromiso de Escondida con la sostenibilidad y la protección de los recursos hídricos, priorizando la conservación de estos recursos esenciales sobre la expansión de sus operaciones. Su enfoque en la responsabilidad ambiental y el reconocimiento de los desafíos del cambio climático hacen que Escondida sea un modelo por seguir en la industria minera” (BHP Revisa sus Próximas Acciones Luego de Cesar la Extracción de Agua en Monturaqui, 2020).

6.2 Desarrollo de Minera Los Pelambres en el contexto de escasez hídrica

Las operaciones de Antofagasta Minerals se destacan por su significativo consumo de agua, lo cual es un aspecto de gran relevancia para la compañía debido a la ubicación de sus faenas en zonas con niveles variables de escasez de agua, que oscilan entre moderada y severa. Para abordar esta situación, la empresa ha establecido un compromiso firme con la utilización eficiente del recurso hídrico. Hace hincapié en su reciclaje siempre que sea factible, con el fin de garantizar su disponibilidad constante tanto para sus operaciones como para las comunidades locales.

Es digno de destacar que “todas las operaciones de la compañía logran reciclar más del 80% de su agua, y en el caso de minera Los Pelambres, este porcentaje alcanza un impresionante 85%” (Reporte de Sustentabilidad, 2010). Además, se lleva a cabo la reutilización de las aguas residuales provenientes de las plantas de tratamiento, las cuales son asignadas a diversos usos, como abastecimiento en los procesos mineros, control de la polución por polvo y riego de áreas verdes circundantes.

Cabe resaltar que, en adición a la eficiencia en la gestión del agua, las operaciones mineras también se esfuerzan por salvaguardar la calidad de las fuentes de agua dulce cercanas a sus faenas. Esto se torna especialmente crítico en la minera Los Pelambres, situada en el extremo de un valle agrícola, donde se realiza una supervisión constante de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Como parte de su compromiso con la comunidad, minera Los Pelambres ha implementado una estrategia que prioriza el uso de agua superficial de calidad menor, así libera agua de mayor calidad para uso de los agricultores locales.

En este contexto, durante años, minera Los Pelambres ha trabajado en la revisión de la estructura organizacional en lo que respecta a los temas relacionados con el agua. Detallando los roles y funciones específicas para la gestión hídrica. Además, llevan a cabo la identificación de los recursos hídricos en riesgo, en colaboración con el área de Riesgo y Cumplimiento de la compañía y las comunidades aledañas a la faena. El resultado principal de este esfuerzo conjunto ha sido la creación de una matriz de riesgo con sus correspondientes controles. La responsabilidad en lo que concierne a los temas del agua recae en el gerente general de cada compañía.

6.2.1 Clasificación de fuentes de agua en minera Los Pelambres

En Antofagasta Minerals, están comprometidos con la estrecha supervisión del consumo de agua en cada una de sus operaciones, y se esfuerzan continuamente por mejorar la eficiencia en el uso de este recurso vital. En un momento, el consumo total experimentó un incremento en 2010, resultado directo del aumento en el tratamiento de minerales. Esto se correlaciona con un aumento en la producción promedio diaria de minera Los Pelambres, que pasó de 129,200 toneladas en 2009 a 159,400 toneladas en 2010.

Por otra parte, es importante destacar que, a pesar de este aumento en la producción, minera Los Pelambres ha mantenido su compromiso con la optimización de su eficiencia hídrica. Se ha logrado a través de la implementación de mejoras tecnológicas en los procesos de flotación, lo que ha contribuido a la reducción de la demanda de agua en la faena. Este enfoque beneficia a la operación, igualmente responde a la responsabilidad ambiental y el compromiso con el uso sostenible del agua. Como se muestra en la siguiente tabla, el uso de agua fresca en 2010 aumentó, pero en proporción con la producción redujo el consumo de agua en la faena.

Tabla 7 Fuentes de agua 2008 a 2010 en miles de m³

Agua fresca	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	Consumo m ³	Consumo m ³	Consumo m ³	Consumo m ³	Consumo m ³	Consumo m ³	Consumo m ³
Agua superficial	14,521	9,512	10,276	12286	14,765	15,463	16,628
Agua subterránea	5,192	4,786	6,568	6721	7,661	7,569	8,397

Fuente: Reporte sustentabilidad 2010 minera Los Pelambres

A partir de 2022, en minera Los Pelambres, se tomará la iniciativa de utilizar agua de mar, una vez finalizada la construcción de la primera etapa de una planta desalinizadora en la costa de la región de Coquimbo, con una capacidad de producción de 400 l/s. En 2020, se tomó la decisión de duplicar la capacidad de esta planta a 800 l/s para el año 2025. “Este paso permitirá poner fin a las extracciones de agua del río Choapa. Como resultado de esta transformación, se prevé que a nivel de Grupo Mine, el uso de agua de mar ya sea sin desalar o desalinizada, representará cerca del 90% del

consumo total de agua en 2025, en contraste con el 43% en 2020” (Reporte de Sustentabilidad, 2020).

“La región del valle del Choapa, donde se ubica la minera Los Pelambres, ha experimentado una sequía persistente en los últimos doce años” (Reporte de Sustentabilidad, 2020). En respuesta a esta situación, la minera Los Pelambres está activamente involucrada en la Mesa Hídrica Provincial establecida por el Gobierno Regional. El propósito de esta mesa es definir e implementar soluciones para mejorar la seguridad hídrica en la zona a corto, mediano y largo plazo.

La compañía se adhiere rigurosamente a los derechos de agua legalmente establecidos y sigue de cerca las directrices para la administración del recurso hídrico establecidas por la Junta de Vigilancia del Río Choapa y las asociaciones de regantes del valle del Río Cuncumén. Es importante destacar que minera Los Pelambres lidera la industria minera nacional en cuanto a la eficiencia en el uso del recurso hídrico. Esto se refleja en la sobresaliente tasa de recirculación del 85%, en comparación con el promedio de la industria, que se sitúa en el 74%.

En la minera Los Pelambres, se consumen solamente 0,34 metros cúbicos de agua fresca por cada tonelada de mineral procesado, lo que se encuentra entre los índices más eficientes en el sector minero. En contraste, el promedio de consumo de agua en la minería nacional es de 0,61 metros cúbicos por tonelada. Esto reafirma el compromiso de la minera Los Pelambres en siempre estar un paso más adelante en la eficiencia de agua, teniendo en cuenta que aún no posee agua desalada como lo tiene minera Escondida.

6.3 Desarrollo de Minera Quebrada Blanca en el contexto de escasez hídrica

En la industria minera, en especial, minera Quebrada Blanca, la gestión del agua es de vital importancia debido al uso de grandes volúmenes de agua en el procesamiento de los materiales extraídos. Este uso tiene el potencial de afectar la calidad del agua, lo que, a su vez, puede repercutir en otros usuarios de la cuenca hidrográfica si no se gestiona de manera adecuada. La minera Quebrada Blanca puede demostrar liderazgo en la gestión del agua al utilizarla de manera eficiente, proteger su calidad y colaborar en la gestión de un recurso hídrico compartido en conjunto con las comunidades locales, esto hasta que esté en funcionamiento su desalinizadora a fines del 2023, la que aportará con agua a su operación, aportando con más agua a las comunidades aledañas.

“Teck reconoce que el acceso al agua es un derecho humano fundamental y que el agua es esencial para los grupos de interés en las cuencas hidrográficas donde operan. Las comunidades que comparten estas cuencas hídricas se preocupan por el acceso a agua limpia para su salud física y espiritual, calidad de vida, bienestar económico y la salud del ecosistema, y compartimos estos valores. La gestión responsable del agua es

esencial para mantener la confianza en las áreas donde realizamos nuestras operaciones” (Política de Agua, 2024).

Están comprometidos en incorporar la gestión del agua en su planificación de negocios a través de la implementación del Marco de Gobernanza del Agua. Esto permite gestionar de manera eficaz tanto las cantidades de agua que utilizan como la calidad del agua que liberan en las operaciones. La gestión eficiente y efectiva del agua es una prioridad para cumplir con los requisitos regulatorios y para mantener un compromiso sólido con todas las partes interesadas.

Teck hace un seguimiento a los datos hídricos a nivel operativo y de toda la compañía. Con el fin de garantizar el cumplimiento de los estándares, normativas y permisos correspondientes, monitoreamos la calidad del agua que se descarga desde nuestras operaciones y se devuelve al medio ambiente y cómo se utiliza para mejorar la eficiencia hídrica.

6.3.1 Los riesgos y oportunidades relacionados con el agua en minera Quebrada Blanca

Minera Quebrada Blanca integra las evaluaciones de riesgos hídricos como un pilar esencial en la toma de decisiones para todas sus operaciones, así cubre las etapas de exploración, desarrollo, operación y cierre, además de las actividades de planificación estratégica a nivel corporativo. Cada operación evalúa los riesgos y oportunidades relacionados con el agua, identifica los factores clave que pueden influir en su gestión. Estas evaluaciones permiten a cada operación y unidad de negocio mantener y actualizar sus registros de riesgos de forma bienal. Sigue su enfoque estandarizado del sistema de gestión de riesgos.

Para llevar a cabo estas evaluaciones, emplean diversas técnicas y herramientas. Incluye conocimientos y herramientas internas de la empresa. Además, utilizan orientación específica sobre riesgos relacionados con el agua y herramientas como la herramienta Aqueeduct del Instituto de Recursos Mundiales¹.

A nivel corporativo, el agua se integra en un proceso de evaluación de riesgos global a nivel estratégico para toda la empresa. Tanto el Comité de Seguridad y Sustentabilidad del Directorio como el Comité de Gestión de Riesgos de HSEC (Salud, Seguridad, Medio Ambiente y Comunidad) incluyen los riesgos relacionados con el agua en su ámbito de actuación, lo que refleja la importancia que se da a este aspecto.

¹ Las herramientas de Aqueeduct mapean el estrés hídrico reflejado en inundaciones y sequías

6.3.2 Clasificación de fuentes de agua en minera Quebrada Blanca

La compañía se asegura de evaluar metodologías alternativas para satisfacer las necesidades de agua en los nuevos proyectos de desarrollo. En particular, en proyectos como QB2 y el proyecto Nueva Unión, ubicados en regiones de Chile con estrés hídrico, se propuso el uso de agua de mar desalinizada. Esta elección se basa en la necesidad de proteger y conservar las fuentes locales de agua dulce para uso comunitario y agrícola.

El uso de agua de mar desalinizada representa una inversión significativa, cerca de 5.200 millones de dólares con una capacidad de procesamiento de 1000 l/s. Requiere la construcción de plantas de desalinización y las tuberías asociadas, así como energía adicional para el proceso de desalinización y el bombeo del agua desde la costa hasta las operaciones, que están ubicadas a una distancia considerable (aproximadamente a 170 kilómetros de QB2 y 125 kilómetros del proyecto Nueva Unión).

Para estos dos proyectos, la principal prioridad es la protección de los suministros locales de agua dulce. Simultáneamente, se exploran nuevas oportunidades para compensar algunas de las emisiones de la generación de electricidad que se requiere para el proceso de desalinización mediante el uso de fuentes de energía renovable. Esto refleja el compromiso con la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental en las operaciones en regiones donde el agua dulce es un recurso limitado (el norte de Chile está declarado como zona con estrés hídrico).

En el contexto de las operaciones chilenas al año 2020, se han llevado a cabo una serie de proyectos relacionados con el agua que han resultado en una reducción máxima del 13 % en el uso de agua dulce. Un logro destacado se observa en Carmen de Andacollo, donde se ha logrado un aumento significativo en la recuperación de agua del espesador de relaves. Es importante señalar que algunos de los proyectos implementados no lograron proporcionar el ahorro de agua esperado, debido a años sucesivos de condiciones de sequía que han representado un desafío en la gestión hídrica. A pesar de los obstáculos, la compañía sigue comprometida en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes en el manejo del agua en las operaciones chilenas, en línea con el compromiso con la responsabilidad ambiental y la eficiencia en el uso de recursos.

6.4 Desarrollo de Minera Doña Inés de Collahuasi en el contexto de escasez hídrica.

El uso eficiente del agua es un objetivo prioritario dentro de la estrategia de desarrollo sostenible de Doña Inés de Collahuasi, lo que atiende la importancia que el recurso reviste para el cuidado del medio ambiente y la calidad de vida de las comunidades del Altiplano. “El agua es un bien que compartimos todos. Para Doña Inés de Collahuasi, su cuidado y uso sustentable es parte del respeto que sentimos por esta tierra, su gente y su historia. La utilización responsable y eficiente del agua es un eje

central en la estrategia de desarrollo sostenible de la empresa” (Acosta, 2010). Doña Inés de Collahuasi, al igual que las mineras mencionadas anteriormente, tiene disposición para trabajar en el uso eficiente del agua y en las nuevas tecnologías.

En minera Doña Inés de Collahuasi, fusionó de manera permanente la planificación hidrológica con una estrategia corporativa sólida y transparente. Con principios claros, los cuales comparten abiertamente con los organismos reguladores y las comunidades vecinas, asegura una coherencia total con las regulaciones gubernamentales y los principios de protección del recurso hídrico.

El compromiso constante con la eficiencia busca mejorar continuamente el uso del recurso y generar conciencia interna sobre la importancia del cuidado del agua. Se adoptó una gestión hídrica dinámica; optimiza constantemente los servicios y beneficios obtenidos de los sistemas hidrogeológicos. Mantiene un enfoque a largo plazo, asegura la capacidad productiva de la matriz hídrica.

Se realiza un seguimiento permanente de los impactos hidráulicos, el cual comprende su influencia en el funcionamiento de los ecosistemas, de los recursos hídricos para la comunidad y del recurso para la empresa. El compromiso ambiental y comunitario se refleja en un protocolo de operación bien definido. Prioriza extracciones en áreas menos sensibles. Doña Inés de Collahuasi cuenta con equipamiento especializado y tecnología de punta para conocer a fondo las características de los acuíferos. En este contexto, la empresa tomó de forma el sistema hídrico, integrándolo a los planes de negocios y toma de decisiones al mediano y largo plazo.

En los años de escasez hídrica, la empresa siempre buscó por todas partes mejorar su eficiencia hídrica, por medio de tecnología, recirculación y proyectos de agua desalada. Este contempla la construcción de una planta desaladora como fuente complementaria de abastecimiento hídrico y acueducto que transportará el agua a la faena. Con esto Doña Inés de Collahuasi abastecerá la faena en su gran mayoría con agua desalada, esto ayudará en el aumento de la producción que pasará de 170 kilo toneladas a 210 kilo toneladas. Esta planta desaladora tendrá una capacidad de 1050 l/s.

6.4.1 Clasificación de fuentes de agua Doña Inés de Collahuasi

La cuenca del Salar de Coposa constituye la principal fuente de suministro de agua para Doña Inés de Collahuasi. Dicho sector se ubica en el altiplano de la región y corresponde a una cuenca endorreica, rodeada por cadenas montañosas y volcanes de alturas superiores a los 5.000 metros de altitud.

En Doña Inés de Collahuasi, se dedica a supervisar de cerca el consumo de agua en todos sus causes, con un constante esfuerzo por mejorar la eficiencia del recurso hídrico. Desde el año 2008 al año 2010 se presentó un aumento en el consumo hídrico, esto está directamente relacionado con el incremento en el tratamiento de minerales. Durante ese año, la empresa captó un volumen total de agua de 36.893.000 m³. Es solo

un 64% de este volumen extraído de la cuenca de Coposa. Este enfoque se integra en la estrategia de la compañía, que busca desarrollar una matriz de abastecimiento hídrico equilibrada para reducir los impactos en el medio natural, especialmente en el sector de Jachucoposa. A continuación, se ve en la siguiente tabla el uso de agua de Doña Inés de entre el periodo de 2008 al 2010.

Tabla 8 Fuentes de agua 2008 a 2010 en miles de m³

Agua fresca	2008		2009		2010	
	Consumo m ³	%del total	Consumo m ³	%del total	Consumo m ³	%del total
Agua cuenca Coposa	21,268	65.3%	23,123	70.0%	23,523	63.8%
Agua cuenca Michincha	8,144	25.0%	8,351	25.3%	8,864	24.0%
Extraccion agua mina	3,152	9.7%	1,566	4.7%	4,505	12.2%
Total	32,564	100%	33,040	100%	36,892	100%

Fuente: Reporte sustentabilidad 2010 minera Doña Inés de Collahuasi

En el plano ambiental, el uso más eficiente del agua es un objetivo prioritario para Doña Inés de Collahuasi, y en 2015 logró un 79,4% de recirculación de agua en la planta concentradora, por sobre el promedio de la industria. Respecto del manejo de residuos, también logró reciclar el 46% y alcanzo un total de 13.896 toneladas, unas 1.300 toneladas más que el 2014.

6.5 Desarrollo de Minera Los Bronces en el contexto de escasez hídrica

En sus informes de sustentabilidad, minera Los Bronces enfatiza su compromiso con la conservación del agua y el uso responsable de este recurso en todas sus operaciones. Este compromiso adquiere una importancia aún mayor dado el contexto actual de escasez hídrica en el país y, en particular, en la Región Metropolitana, donde se encuentra nuestra operación. Para optimizar la gestión del recurso hídrico, hemos implementado medidas significativas, como el aumento en los niveles de recirculación de agua en nuestras operaciones y la reducción progresiva del uso de agua continental desde 2010.

Es esencial destacar que mantener los mismos niveles de producción se ha convertido en un desafío. Esto se debe a la entrada en operación de la nueva planta de la faena, Confluencia, en 2011, la cual procesa aproximadamente 105,000 toneladas de mineral al día. Esta ampliación de capacidad ha conllevado un incremento en el consumo de agua en nuestras operaciones. Por lo tanto, la eficiencia en el uso del agua se ha vuelto crítica para garantizar la continuidad de las operaciones.

En 2018, enfrentó una situación crítica cuando se vio obligado a detener la planta de la minera Los Bronces debido a la escasez de agua, lo que resultó en una paralización que se extendió por seis meses. Durante ese período, solo Confluencia pudo mantener la operación. Esta experiencia generó una profunda reflexión, ya que algunos de los altos ejecutivos se preguntaron por qué no se habían previsto estas dificultades a mediano o

largo plazo. La respuesta se basó en la limitación de recursos financieros en ese momento, ya que el presupuesto estaba destinado principalmente a la construcción de Confluencia y no se disponía del capital necesario para la construcción de una planta desaladora, a pesar de haber visualizado el problema, al igual que lo hizo BHP en su momento.

Como resultado de estos desafíos, minera Los Bronces implementó un sistema integral para monitorear tanto el consumo como el tratamiento del agua. Este sistema garantiza un flujo constante de agua en nuestras operaciones y evita situaciones como las que se mencionaron anteriormente. Para alcanzar este objetivo, comenzamos a utilizar agua reciclada y realizamos inversiones significativas, como la adquisición de grandes volúmenes de agua de La Farfana, para asegurar un suministro de aproximadamente 150 l/s. Esta iniciativa, junto con otras fuentes de agua, garantiza un funcionamiento óptimo de nuestras operaciones.

6.5.1 Clasificación de fuentes de agua en Anglo American

En el período comprendido entre 2000 y 2012, Anglo American utilizó principalmente el agua de las cuencas de la Región Metropolitana, en su mayoría procedente de los ríos Mapocho y Maipo, para abastecer la minera Los Bronces, lo que permitía su funcionamiento sin problemas. En aquel entonces, la disponibilidad de agua era mayor debido a las abundantes nevadas y lluvias que caracterizaban la región. No obstante, a medida que avanzaba la primera década del 2000, esta situación climática empezó a cambiar.

En el año 2000, las condiciones climáticas extremas que enfrento no eran una preocupación. Minera Los Bronces disfrutaba de un suministro de agua significativo gracias a las condiciones climáticas favorables de la región. En cambio, a medida que avanzaba la primera década del 2000, esta situación comenzó a cambiar. Además, se impulsó la construcción de la nueva planta Confluencia, que se completó a principios de 2011. Aunque esta planta tiene como objetivo aumentar la producción, es importante señalar que este incremento va de la mano con un mayor consumo de agua.

La visión de futuro de Anglo American se basa en la inversión, en soluciones integradas de tecnología hídrica, lo cual es fundamental para lograr una significativa mejora en la eficiencia del agua, en la industria minera. Adoptaron diversas tecnologías innovadoras relacionadas con la gestión de relaves finos, el control de la evaporación y la supresión de polvo en caminos, lo que se ha convertido en práctica común en la mayoría de las operaciones. A continuación, se muestra en la siguiente tabla el consumo de agua y los afluentes.

Tabla 9 Fuentes de agua 2009 a 2010 en miles de m³

Agua fresca	2010	2009
	Consumo m ³	Consumo m ³
Agua Utilizada	14,436	14,776
Agua Subterránea	685	No informada
Agua Superficial	13,751	No informada

Fuente: Reporte sustentabilidad 2009 minera Los Bronces

Durante el año 2015, se logró un importante avance en la implementación de tecnologías más modernas, como la separación de cursos de agua que no tienen contacto con las aguas residuales, una reducción en la descarga de agua en los relaves, la monitorización remota de flujos y niveles de agua en las presas y relaves, así como la experimentación con tecnologías de tratamiento pasivo de aguas. Además, una de las prioridades es el diseño y la operación de plantas de procesamiento y gestión de residuos minerales altamente eficientes en el uso del agua.

6.6 Línea de tiempo de proyectos desaladoras para las cinco mineras en estudio

En la siguiente línea de tiempo se presentan los hitos importantes de cada una de las mineras en estudio, la capacidad instalada para cada una de las faenas y los montos invertidos para lograr el proyecto. Además, se destaca la primera desaladora y el precio de ese año en comparación a minera Los Pelambres.

Figura 3 Línea de tiempo desaladoras de las cinco mineras en estudio



Fuente: EIA de cada empresa y reporte económico 2020

La línea de tiempo trazada hasta el momento proporciona valiosas lecciones para los años venideros, especialmente debido a un hito significativo logrado por minera Escondida: ser pionera en la desalinización de agua de mar para sus operaciones. Como

se mencionó en párrafos anteriores, es fundamental destacar los logros de cada empresa bajo estudio para contextualizar el alcance de minera Escondida.

En la consecución de este objetivo, las compañías mineras deben llevar a cabo diversos documentos, como la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y otros, los cuales están sujetos a plazos de evaluación por parte de las autoridades. En este contexto, es importante subrayar que estos proyectos pueden ser acogidos o rechazados, y el proceso de evaluación puede extenderse hasta dos años.

Una vez superada la etapa de evaluación, se inicia la fase de obtención de capitales para la construcción del proyecto, un proceso que puede prolongarse entre dos y tres años. Posteriormente, la construcción del proyecto en sí depende de su envergadura, puede extenderse de tres a cinco años. Si se toman en cuenta estos plazos y un escenario pesimista, se podría estimar que la concreción de un proyecto de desalación puede tardar hasta diez años, desde la etapa inicial hasta su funcionamiento a capacidad nominal.

Es esencial reconocer el hito histórico alcanzado por minera Escondida al implementar su primera desaladora. “Se considera la inversión inicial de 60 millones de dólares en 2006, se estima que al llegar al año 2020, el valor ascendería a aproximadamente 99 millones de dólares en términos nominales, lo que representa un incremento del 60,6%” (Anuario Balanza de Pagos, 2015) con respecto a 2006. Este logro, además, destaca la visión a largo plazo de la empresa e igualmente su compromiso con la sostenibilidad y la innovación en la industria.

Para iniciar este análisis, se procede a examinar a minera Escondida en primer lugar, ya que es la primera empresa en concretar la construcción de una desaladora. Se establece como pionera en este emergente nicho de negocios. Los primeros pasos de minera Escondida en este ámbito se remontan a finales de la década de 1990, el que culminó con la puesta en operación de su desaladora en el año 2006. Este acontecimiento marcó un hito crucial para la compañía en aquellos años, así como para BHP Billiton, la empresa matriz.

A medida que transcurrieron los años, la visión de negocio de minera Escondida se expandió hacia otras operaciones de la compañía. En 2009, presentaron la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la expansión de una nueva desaladora en Puerto Coloso. Los frutos de este esfuerzo se cosecharon a finales de 2017, cuando la planta se convirtió en la segunda desaladora de la faena. Con una inversión cercana a los 3.500 millones de dólares y una capacidad de 2.500 l/s, se erigió como la instalación más grande en la historia de Chile. Este logro posicionó a minera Escondida como poseedora de la mayor cantidad de agua desalada en la industria y hoy posee el 40% de la capacidad instalada de agua de mar en Chile.

Según el primer catastro nacional de plantas procesadoras de agua de mar, la capacidad total de las instalaciones en operación asciende a 8.200 l/s. Según estos

datos, minera Escondida se consolida como el principal productor de agua de mar en Chile, lo que otorga una relevancia destacada. Además, el hecho de que todas sus operaciones se realicen hoy en día con agua de mar revela el éxito de su visión a largo plazo en temas hídricos. Esta estrategia, forjada desde finales de la década de 1990, se revela como la elección más acertada para abordar de manera integral el problema hídrico.

Minera Los Pelambres sigue la senda marcada por minera Escondida al abordar proactivamente el desafío hídrico. Desde 2014, la empresa ha estado inmersa en la preparación de los documentos necesarios para la implementación de su planta desalinizadora. Con una visión centrada en el futuro de sus operaciones y la preocupación por la escasez hídrica en la región circundante, la minera Los Pelambres ha dado pasos significativos en la dirección correcta.

Este hito, al igual que el de minera Escondida, ha marcado un antes y un después para la empresa. La puesta en funcionamiento de la planta desalinizadora, con una capacidad nominal de 400 l/s de agua fresca en sus operaciones, destaca como un logro clave. A diferencia de minera Escondida, la inversión para esta iniciativa ascendió a 2.200 millones de dólares, lo que evidencia un costo más elevado.

Lo que distingue a la minera Los Pelambres es su liderazgo en el área de recirculación de agua, que alcanzó cerca del 85%. Este enfoque, combinado con el uso de agua de mar, promete resultados más eficientes en el consumo total de agua. La planta desalinizadora, hoy en día la segunda en operación entre las mineras objeto de estudio, tiene proyectada una expansión que aumentará la producción a 800 l/s desalada. Este paso refleja un compromiso creciente con la responsabilidad ambiental, la preservación de los ecosistemas y la armonía con las comunidades circundantes.

Minera Quebrada Blanca y Doña Inés de Collahuasi se suman al distinguido grupo de empresas que están a punto de poner en marcha sus desaladoras. Estas instalaciones contribuirán a reducir el uso de agua continental en sus operaciones respectivas, sino que también incrementarán gradualmente la utilización de agua de mar, generando un impacto significativo en el medio ambiente y en las comunidades circundantes.

Aunque las mineras Quebrada Blanca y Doña Inés de Collahuasi son actores fundamentales en sus entornos, también deben demostrar que son responsables en el uso y consumo de agua continental. Al igual que la minera Los Pelambres, se encuentran en una zona de estrés hídrico, es por este motivo que el funcionamiento de sus plantas tendrá un impacto significativo en la región. Esto evidencia que pueden ser mucho más eficientes con el tema del agua y más responsables.

El único inconveniente que enfrentan actualmente estas empresas es que su visión se desarrolló más tarde en comparación con minera Escondida. Los proyectos de agua requieren una alta inversión por parte de estas empresas, y el caudal de agua que manejan no se compara con la minera Escondida. Sin embargo, es importante destacar

que, gracias a estos esfuerzos, se incrementará la disponibilidad de agua fresca en sus respectivas regiones.

En contraste, Anglo American emerge como la única minera que no adoptó una visión proactiva frente al escenario hídrico. Durante los años de bonanza del cobre, la empresa no anticipó los desafíos relacionados con el agua y continuó su operación como si la abundancia de este recurso en la cordillera evitara problemas. Esta perspectiva resultó ser insostenible, y tarde o temprano, tuvo repercusiones en su operación.

Desde 2018, la minera ha enfrentado múltiples suspensiones operativas debido a problemas hídricos, cuando se vio obligada a detener la operación de su planta más antigua durante aproximadamente cuatro meses. Esta interrupción tuvo un impacto significativo en la producción de cobre. Para hacer frente a este problema, los altos funcionarios de Anglo American Chile han tenido que tomar medidas significativas, incluida la remoción de algunos de sus cargos y la reorganización de otros, en busca de nuevas estrategias para abordar el desafío hídrico.

La operación de minera Los Bronces depende del suministro de agua de terceros, específicamente de La Farfana, así como del uso de agua de rielillos y de la recirculación para su funcionamiento. La línea de tiempo refleja que la empresa ha tenido que recurrir al arrendamiento de una desaladora propiedad de Aguas del Pacífico para mantener su producción, una medida proyectada para el año 2025. Por otra parte, el incumplimiento de este acuerdo conlleva un riesgo significativo para la operación de la minera Los Bronces, ya que podría enfrentar la detención total de la planta y funcionar solo con confluencia. Esto representaría una disminución aproximada del 35% en la producción de cobre, lo que ubicaría a la minera en la categoría de mediana minería a corto plazo, con consecuencias directas tanto en el empleo en la faena como en la región.

En resumen, la línea de tiempo hasta ahora proporciona valiosas lecciones. Destaca el hito significativo logrado por minera Escondida al ser pionera en la desalinización de agua de mar. El proceso para concretar proyectos de desalación implica la realización de documentos como la Declaración de Impacto Ambiental y el Estudio de Impacto Ambiental, seguido por la obtención de capitales y la construcción, que puede llevar hasta diez años.

Minera Escondida, desde la década de 1990, lideró la implementación de desaladoras. Destacó por su visión a largo plazo y compromiso con la sostenibilidad. Minera Los Pelambres, siguió su ejemplo, implementó una planta desalinizadora con enfoque en recirculación, y demostró compromiso ambiental. Minera Quebrada Blanca y Doña Inés de Collahuasi también están por implementar desaladoras, aunque iniciaron más tarde.

Anglo American no adoptó una visión proactiva. Enfrentó problemas hídricos en la minera Los Bronces desde 2018. La empresa ha tenido suspensiones operativas significativas y depende actualmente del suministro de agua de terceros. Su futuro implica

el arrendamiento de una desaladora para evitar una reducción del 35% en la producción de cobre, con impactos en la empleabilidad.

Estos casos subrayan la trascendencia de adoptar una perspectiva a largo plazo en la industria minera, lo que evidencia hitos significativos de cada empresa bajo estudio y cómo sus estrategias a largo plazo impactaron positiva o negativamente en sus resultados. Queda claro que una gestión efectiva y una visión sólida del negocio generan beneficios a mediano y largo plazo. Sin embargo, también se observa el riesgo potencial de catástrofes, como en el caso de Anglo American, que ha resultado ser la minera más perjudicada debido a la falta de visión y gestión por parte de sus líderes.

6.7 Beneficios de la desaladora para la minería y medio ambiente de las cinco mineras en estudio

Las desaladoras, cual superhéroes del agua, aportan innumerables beneficios a la industria minera al actuar como una fuente de vida en áreas áridas. Estas instalaciones proveen agua de alta calidad para las operaciones, asegura un suministro constante incluso en regiones secas o con estrés hídrico. El análisis de los párrafos anteriores revela claramente que las mineras en estudio operan en zonas con escasez hídrica, motivo por el cual el término "superhéroe" resulta pertinente, ya que subsisten en su gran mayoría al uso de agua de mar. Este logro no habría sido posible sin la visión proactiva de las mineras en estudio a principios de los años 2000.

Las empresas iniciaron estudios de viabilidad, EIA y otros para avanzar gradualmente en la implementación de proyectos previamente planificados. Esto se llevó a cabo para prevenir problemas relacionados con el consumo de agua continental. Es relevante destacar que la pionera en este enfoque fue la minera Escondida, perteneciente a BHP, quienes lideran en este sector y que hoy en día utilizan solo agua de mar en sus operaciones, lo que favorece al medio ambiente y las comunidades aledañas a la operación.

6.7.1 Beneficios y debilidades del uso de agua de mar para minera Escondida y su entorno

Desde el año 2019, la planta desaladora de minera Escondida ha sido un acierto significativo al proporcionar una solución viable para enfrentar la sequía en la zona norte. Gracias a esta iniciativa, lograron mantener la producción sin depender de una fuente de agua dulce, que actualmente es un problema crítico debido al alto consumo en la agricultura, las comunidades y la flora y fauna.

A partir de 2019, cuando la planta desaladora operó a plena capacidad, minera Escondida dejó de utilizar agua continental proveniente del acuífero del Salar de Atacama, que antes aportaba un volumen de 428 l/s. Esta transición fue precedida por la suspensión de la extracción de los pozos en el acuífero Monturaqui el 31 de diciembre de 2019. Minera Escondida se convirtió así en la primera minera en prescindir del uso de

agua continental. Demostró que la implementación de planes a largo plazo puede dar resultados positivos. A continuación, se presenta un cuadro comparativo de las fortalezas y debilidades en el actual escenario hídrico.

Tabla 10 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Escondida

Aspectos	Fortalezas	Debilidades
Contribuciones económicas	Resuelve problemas de escasez de agua, respaldando diversas industrias.	Posibles impactos ambientales en pesquerías, acuicultura y otros.
	Contribuye al desarrollo económico.	Necesidad de más investigación sobre impactos específicos en Chile.
		Falta de regulación específica para la descarga de salmuera.
Adaptación al cambio climático	Estrategia clave para adaptarse a condiciones cambiantes.	Riesgos asociados a cambios en la calidad del agua y afectación de ecosistemas marinos.
	Fuente de agua más confiable ante el cambio climático.	Necesidad de evaluar diseño y ubicación específicos para evitar impactos significativos.
Aumento del acceso al agua	Esencial para dimensiones sociales y económicas del desarrollo sostenible.	Impactos potenciales en la recarga de acuíferos y diversidad microbiana.
	Mitiga la escasez de agua en regiones áridas y semiáridas.	Insuficiencia de estudios en Chile sobre impactos específicos.
Mitigación de la escasez de agua	Contribuye al cumplimiento de compromisos de desarrollo sostenible.	Preocupaciones sobre el impacto en la biodiversidad y la aceptabilidad social.
Impactos ambientales	Reconoce los impactos potenciales y sugiere estrategias de mitigación.	Necesidad de estudios en Chile para comprender impactos específicos en la pesca y la biodiversidad.
	Aborda la importancia de estudiar el diseño y ubicación específicos.	Riesgos para la acuicultura y la falta de regulación adecuada para la descarga de salmuera.

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior evidencia claramente que la estrategia implementada por minera Escondida ha sido un rotundo éxito, lo que generó una serie de beneficios que se traducen en una valiosa contribución económica tanto para la propia empresa como para otras industrias del sector. El hecho de no depender de agua continental optimiza los recursos de la minera Escondida, además libera un recurso vital que puede ser aprovechado por otras empresas, para fomentar así el desarrollo económico sostenible en la región.

Esta iniciativa también tiene un impacto positivo en las comunidades circundantes y en la agricultura local. La disponibilidad de agua, ahora mejor gestionada gracias a la desaladora, contribuye a mejorar la calidad de vida de las comunidades locales y respalda el crecimiento y la sostenibilidad del sector agrícola. En resumen, la estrategia de minera Escondida ha demostrado ser exitosa para la empresa en sí, y también ha generado externalidades positivas significativas que resaltan en la economía regional y en el bienestar de las comunidades locales.

A pesar de los notables beneficios económicos y de gestión hídrica de la estrategia de minera Escondida, también es crucial reconocer las debilidades que impactan directamente al medio ambiente y al entorno marino en el que está inmersa la desaladora. Aunque el plan de mitigación implementado por minera Escondida es considerado bueno, su ejecución no alcanza un nivel excelente.

Un aspecto crítico es la cantidad de salmuera devuelta al mar, que resulta ser significativa. “Para contextualizar esta magnitud, se estima que por cada metro cúbico de agua de mar desalinizada se generan aproximadamente 35 kg de sal” (Informe Desalinización, Cambio Climático, 2022). La planta desaladora, durante su proceso, devuelve alrededor del 1,09% al 1,69% de salmuera al mar. Esto implica que, por cada metro cúbico de salmuera enviado al mar, se podrían liberar hasta 59,15 kg de sal.

Esta descarga masiva de salmuera plantea preocupaciones sobre posibles cambios en la calidad del agua y la afectación de los ecosistemas marinos circundantes, especialmente debido a la falta de regulación específica en la descarga de salmuera. Aunque se ha implementado un plan de mitigación, es evidente que se necesitan medidas adicionales y una regulación más estricta para garantizar la preservación del entorno marino y la sostenibilidad a largo plazo de la operación de la desaladora.

La inversión de minera Escondida en las plantas desalinizadoras ha sido significativa, pero la compañía ha considerado esta inversión como una estrategia de negocio a largo plazo para garantizar la rentabilidad y la competitividad en el contexto de la escasez hídrica. En la siguiente tabla se presentan algunos puntos clave relacionados con los costos y beneficios de la inversión que realizó minera Escondida.

Tabla 11 Aspectos destacables de la inversión de minera Escondida

Aspecto	Detalles
Costos de inversión	Primera planta, inversión 60 millones de dólares Capacidad: 525 l/s. Segunda planta, inversión 3.430 millones de dólares Capacidad: 2.500 l/s.
Rentabilidad y sostenibilidad	Duración de la inversión 25 años de producción asegurada para Escondida. Visión empresarial: Enfoque a largo plazo y compromiso con la sostenibilidad. Considera la rentabilidad a largo plazo y la seguridad en el suministro de agua como beneficios clave.
Impacto en la competitividad	Fortalecimiento competitivo: La inversión fortalece la posición competitiva de minera Escondida Mensaje a competidores: Minera Escondida demuestra disposición para realizar inversiones significativas y asegurar su posición en el mercado. La visión a largo plazo indica estabilidad y compromiso con la sostenibilidad. Contribución estratégica: La visión estratégica contribuye al éxito continuo del negocio.
Mensaje a los competidores	Minera Escondida ha demostrado que está dispuesta a hacer inversiones significativas para asegurar su posición en el mercado. La visión a largo plazo indica estabilidad y compromiso con la sostenibilidad, factores que pueden influir en la percepción de los competidores y otros actores del mercado.

Fuente: Elaboración propia, información de reportes sustentabilidad y EIA

Aunque la inversión inicial puede parecer alta, minera Escondida ha evaluado estos costos en términos de beneficios a largo plazo, rentabilidad, sostenibilidad y competitividad. La empresa ha establecido un claro compromiso con la gestión sostenible de los recursos hídricos y ha posicionado sus inversiones como parte integral de su estrategia de negocio a largo plazo.

6.7.2 Beneficios y debilidades del uso de agua de mar para minera Los Pelambres y su entorno

Minera Los Pelambres se destaca como la segunda empresa en este estudio que incorpora agua de mar en sus operaciones mineras. Su liderazgo en la recirculación del agua y su eficiencia la distinguen de otras mineras. Esta práctica refleja un firme compromiso con la sostenibilidad ambiental, también aporta beneficios sustanciales para la región.

Uno de los beneficios más significativos es la notable reducción del consumo de agua continental del río Choapa; disminuyó su demanda hídrica en aproximadamente un 40%. Este logro resalta la eficiencia operativa de la minera Los Pelambres, igualmente tiene implicaciones positivas para las comunidades circundantes y los sectores agrícolas locales.

El cuadro comparativo a continuación ofrece una visión más detallada de las fortalezas y debilidades observadas en la actualidad, proporciona un análisis integral de la posición de minera Los Pelambres en comparación con otras entidades del sector.

Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Los Pelambres en el actual escenario hídrico.

Tabla 12 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Los Pelambres

Aspectos	Fortalezas	Debilidades
Eficiencia en la extracción	Mayor productividad.	Impactos ambientales por la salmuera. Consumo significativo de energía.
Impactos ambientales	Gestión eficaz de residuos. Prácticas sostenibles.	Alteración del suelo marino Uso intensivo de agua de mar. Generación de residuos químicos.
Desafíos socioeconómicos	Generación de empleos. Desarrollo de la infraestructura.	Posible reubicación de comunidades aledañas a la desaladora.
Consumo energético	Implementación de sistemas adecuados.	Contribución al aumento de la huella de carbono.

Fuente: Elaboración propia

La inversión realizada en la planta desalinizadora de minera Los Pelambres representó un desembolso significativamente mayor en comparación con la planta de minera Escondida. Este aumento en los costos puede atribuirse a diversos factores, como el incremento generalizado de los costos a lo largo de los últimos 20 años, la inflación, y las variaciones en los gastos asociados a la mano de obra. No obstante, es crucial destacar que esta inversión sostiene la visión a largo plazo de minera Los Pelambres en su camino hacia la sostenibilidad y la adopción de tecnologías avanzadas en sus operaciones.

El compromiso de minera Los Pelambres con la sostenibilidad y la aplicación de tecnología de vanguardia en su operación justifica el costo adicional asociado con la planta desalinizadora. Este proyecto impacta directamente a la minera, y también influye de manera significativa en su entorno y en la comunidad circundante.

Es importante subrayar que minera Los Pelambres comparte una visión similar con minera Escondida en su enfoque hacia la sostenibilidad. La implementación de la planta desalinizadora se revela como un elemento fundamental para garantizar la continuidad de las operaciones mineras. Este proyecto se alinea estrechamente con las políticas de sostenibilidad de la compañía minera y su estrategia a largo plazo en cuanto a la gestión del recurso hídrico. A continuación, se presenta el cuadro de aspectos destacados de minera Los Pelambres.

Tabla 13 Aspectos destacables de la inversión minera Los Pelambres

Aspecto	Detalles
Costo de la inversión	Inversión 2.200 millones de dólares Capacidad: 400 l/s, junto a una expansión de su planta que proporcionará 60.000 toneladas por año.
Rentabilidad y sostenibilidad	Duración de la inversión asegura 20 años de producción para minera Los Pelambres. Visión empresarial: Enfoque a largo plazo con énfasis en la sostenibilidad del proceso. Considera rentabilidad a largo plazo y seguridad en el suministro de agua como beneficios clave.
Impacto en la competitividad	Fortalecimiento de relaciones: La inversión fortaleció la posición con las comunidades y el entorno donde se encuentra la minera. Mensaje a la comunidad: La empresa envía un claro mensaje: son productivos y pueden ser aún más responsables medioambientalmente. Contribución estratégica: La visión estratégica contribuye al éxito del negocio y a mantener buenas relaciones con su entorno.

Fuente: Elaboración propia, información de reportes de sustentabilidad y EIA

La inversión de minera Los Pelambres es mayor en comparación con minera Escondida, tanto en términos de costos como de caudal de agua utilizado, pero ambas comparten el mismo objetivo: mantener su producción sin depender del agua continental, lo que reduce la tensión con las comunidades aledañas. Además, este enfoque refuerza la imagen de la compañía como social y ambientalmente responsable.

6.7.3 Fortalezas y debilidades de la desaladora Doña Inés de Collahuasi y su entorno

En el ámbito ambiental, “el impacto del cambio climático ha generado la necesidad de reforzar los niveles de resiliencia en los procesos de Doña Inés de Collahuasi” (Reporte de Sustentabilidad Collahuasi, 2021). En el ámbito de los recursos hídricos, se perpetúa la búsqueda constante de fuentes adicionales de agua, lo que destaca la actual construcción de una planta desaladora que gradualmente reducirá la dependencia del agua continental. Mientras se espera la entrada en funcionamiento de esta planta, las únicas fuentes de recursos hídricos actuales provienen de aguas subterráneas extraídas de las cuencas altiplánicas de Coposa y Michincha, así como de las aguas desaguadas del rajo Rosario.

La urgencia de concluir la construcción de la desaladora y ponerla en marcha radica en la imperativa necesidad de asegurar las operaciones diarias, lo que libera de la dependencia exclusiva de las fuentes mencionadas anteriormente. La extracción de agua se encuentra actualmente sujeta a limitaciones determinadas por los derechos de aguas, las autorizaciones ambientales y la capacidad intrínseca de los acuíferos para proporcionar caudales de manera sostenible. La desaladora constituirá una solución inmediata a estos desafíos, y también desempeñará un papel crucial en fortalecer la resiliencia ambiental de las operaciones de minera Doña Inés de Collahuasi a largo plazo.

A continuación, se muestran las fortalezas y debilidades para la minera Doña Inés de Collahuasi en el actual escenario hídrico.

Tabla 14 Fortalezas y debilidades de la desaladora para Doña Inés de Collahuasi.

Aspectos	Fortalezas	Debilidades
Eficiencia en la extracción	Mayor producción cuando esté en funcionamiento la planta desaladora y la nueva infraestructura.	Impactos ambientales por la salmuera. En el puerto de Iquique.
Impactos ambientales	Gestión eficaz de residuos Prácticas sostenibles	Eventuales infiltraciones de químicos.
Desafíos socioeconómicos	Generación de empleos en los pick de empleo.	Compra de terrenos a terceros para el paso del mineroducto.
Consumo energético	Implementación de sistemas adecuados.	Contribución al aumento de la huella de carbono.

Fuente: Elaboración propia

“Doña Inés de Collahuasi se encuentra inmersa en un continuo proceso de reestructuración con el objetivo de elevar los estándares de seguridad, productividad y sustentabilidad” (Reporte de Sustentabilidad Collahuasi, 2020). Para lograr estos propósitos, ha implementado una estrategia que se desarrolla en tres fases fundamentales: estabilización de operaciones, optimización de procesos y expansión para dar continuidad al negocio y aumentar la producción.

En todas las actividades emprendidas, la empresa se esfuerza por armonizar cuatro dimensiones clave que constituyen la base de su política de sustentabilidad. Estas dimensiones se centran en minimizar el impacto de las operaciones, implementar soluciones para fomentar la conservación y el cuidado de la biodiversidad circundante, y contribuir activamente a la reducción de agentes que aceleran los efectos del cambio climático.

Con un claro compromiso con el medio ambiente y las comunidades locales, Doña Inés de Collahuasi asume el papel de agente de cambio. En su visión a largo plazo, busca la continuidad del negocio y el aumento de la producción, asimismo, la responsabilidad hacia el entorno y las personas.

Como parte integral de esta visión, la empresa ha decidido llevar a cabo una significativa expansión en su infraestructura y mejorar su capacidad productiva. Destaca dentro de este proyecto la construcción de una nueva planta desaladora, que servirá como fuente complementaria de abastecimiento hídrico. Además, se implementará un acueducto correspondiente para llevar el agua a la faena, con el objetivo de reducir el uso de agua fresca de las cuencas y contribuir así a la preservación de los recursos naturales. Esta iniciativa refleja el compromiso de Doña Inés de Collahuasi con la eficiencia operativa, también con la sostenibilidad y el respeto por el entorno, posicionándola como un referente en la industria minera en términos de responsabilidad ambiental y social.

Tabla 15 Aspectos destacables de la inversión de Doña Inés de Collahuasi

Aspecto	Detalles
Costo de la inversión	Inversión 3.200 millones de dólares esto incluye la nueva infraestructura y la desaladora, la cual posee una capacidad de: 1.025 l/s.
Rentabilidad y sostenibilidad	Duración de la inversión asegura 20 años de producción para Doña Inés de Collahuasi. Visión empresarial: Enfoque a largo plazo con énfasis en la sostenibilidad del proceso, aumento su producción de 170 Ktpd a 210 Ktpd. Apoyada por la planta desaladora quien contribuirá con agua fresca a la faena.
Impacto en la competitividad	Fortalecimiento de relaciones: La inversión fortaleció la posición con las comunidades y el entorno donde se encuentra la minera, pero también conflictos con los pescadores de la caleta del puerto Contribución estratégica: La visión estratégica contribuye al éxito del negocio.

Fuente: Elaboración propia, información de reportes sustentabilidad y EIA

Doña Inés de Collahuasi, reconoce plenamente que la adopción de prácticas empresariales responsables implica la creación de un ambiente fundamental basado en la confianza, transparencia y rendición de cuentas. “Estos principios son esenciales para fomentar inversiones a largo plazo y garantizar la estabilidad financiera, sino que también son la base de la integridad del negocio” (Informe de Ética y Transparencia, 2021).

Se comprometen a mantener un enfoque integral que abarque no solo aspectos financieros, sino igualmente valores éticos. Creen firmemente que esta combinación es clave para construir y fortalecer relaciones sólidas con las partes interesadas. Este compromiso no se limita únicamente al ámbito empresarial. Forma parte integral de los objetivos estratégicos el velar por el cuidado del medioambiente, promover el desarrollo comunitario y contribuir al progreso de todas las partes interesadas.

Doña Inés de Collahuasi, comprende que la sostenibilidad es un componente adicional, sino un elemento central de su quehacer diario. Están dedicados a alcanzar, sino superar los estándares de responsabilidad empresarial, siendo conscientes de que este compromiso beneficia a la empresa, también contribuye al bienestar de las comunidades y del medio ambiente en general.

6.7.4 Fortalezas y debilidades de la desaladora de minera Quedada Blanca y su entorno

La compañía, en todas sus operaciones, aplica un enfoque riguroso en el control y modelado de los recursos hídricos, tanto subterráneos como superficiales. Este proceso busca determinar las tasas de extracción y, lo que es aún más importante, garantizar la protección a largo plazo de estas fuentes de agua. Además, la empresa desarrolla proyecciones sobre la disponibilidad y uso futuro del agua, lo que orienta las decisiones actuales, sino que también asegura la preservación de los acuíferos, esto beneficia directamente a los usuarios locales en el futuro.

Esta estrategia es esencial para la integridad ambiental y social, igualmente se erige como un pilar vital para el éxito de los negocios de compañía. Es especialmente relevante en un contexto global marcado por la escasez hídrica, una problemática a la que se enfrenta la compañía, todo el mundo en su conjunto. Esta atención proactiva y estratégica a la gestión del agua se vuelve aún más crítica en la zona norte de Chile, donde se encuentran ubicadas las operaciones de la minera Quebrada Blanca.

La extracción de agua para las operaciones de la empresa proviene principalmente de las áreas donde estas interactúan con los sistemas de aguas superficiales y subterráneas. No obstante, en respuesta a la creciente escasez hídrica, la minera Quebrada Blanca ha adoptado un enfoque más amplio y sostenible, recurrió cada vez más a fuentes de agua de mar para el suministro de agua. Este cambio refleja la adaptabilidad de la compañía a las condiciones cambiantes, además su compromiso continuo con la responsabilidad ambiental y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Este enfoque es una respuesta a los desafíos actuales, así como una visión estratégica para asegurar la viabilidad y sostenibilidad a largo plazo de su operación. A continuación, se muestran las fortalezas y debilidades de la minera Quebrada Blanca en el actual escenario hídrico.

Tabla 16 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Quebrada Blanca

Aspectos	Fortalezas	Debilidades
Eficiencia en la extracción	Monitoreo constante y predicción futura del consumo de agua.	Aun usa agua continental en sus operaciones.
Impactos ambientales	Gestión eficaz del agua.	Conflicto con las comunidades aledañas por el uso de agua fresca.
Desafíos socioeconómicos	Generación de empleos en la construcción de su planta y desaladora.	Mantener a las personas aledañas a la faena cuando entren en operación las plantas.
Consumo energético	Implementación de sistemas adecuados.	Contribución al aumento de la huella de carbono.

Fuente: Elaboración propia

El proyecto QB2 de Teck se convertirá en una de las operaciones de cobre más grandes del mundo, desarrollándose bajo el yacimiento de la operación de la minera Quebrada Blanca.

El proyecto QB2 es un activo de cobre de larga vida y bajo costo. Su gran base de recursos ofrece gran potencial para expandir y extender significativamente la vida útil de la mina más allá del desarrollo actual. El alcance del proyecto incluye la construcción de una concentradora de 143.000 toneladas por día e instalaciones relacionadas, que están conectadas a un nuevo puerto y a una nueva planta desalinizadora a través de un concentraducto y a tuberías de agua desalinizada. De 165 kilómetros de longitud. “El costo de capital para el desarrollo del proyecto se estima ahora en US\$ 4.739 millones al 1° de enero de 2019 (en dólares constantes del segundo trimestre de 2017, sin incluir el capital de trabajo, escalamiento o intereses durante la construcción, y suponiendo un tipo de cambio CLP/USD de 625)” (Proyecto QB2, 2017).

Tabla 17 Aspectos destacables de la inversión de Teck

Aspecto	Detalles
Costo de la inversión	Inversión 4.739 millones de dólares esto incluye la nueva infraestructura y la desaladora la cual posee una Capacidad: 1.000 l/s.
Rentabilidad y sostenibilidad	Duración de la inversión: Asegura 28 años de producción para minera Quebrada Blanca. Visión empresarial: Enfoque a largo plazo con énfasis en la sostenibilidad del proceso, con una nueva concentradora de 143 Ktd.
Impacto en la competitividad	Fortalecimiento de relaciones: La inversión fortaleció la posición con las comunidades y el entorno donde se encuentra la minera, ayudo con los lazos con las comunidades y el gobierno. Contribución estratégica: La visión estratégica contribuye al éxito del negocio.

Fuente: Elaboración propia, información de reportes de sustentabilidad y EIA

Hasta 2025, se ha establecido como objetivo clave diseñar todos los proyectos de desarrollo en regiones con escasez de agua y utilizar fuentes de agua de mar o de baja calidad. Esta medida estratégica responde a la necesidad crítica de optimizar los recursos hídricos en áreas con limitaciones, asimismo impulsa la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en el desarrollo de nuevas iniciativas.

Además, para el mismo año, se planea implementar nuevas estrategias en el control de fuentes y el diseño de minas, así como en los sistemas de tratamiento de aguas. Este enfoque busca mejorar continuamente la gestión de la calidad del agua en todas las operaciones. La adopción de prácticas innovadoras y tecnologías avanzadas demuestra un fuerte compromiso con la preservación y mejora de los recursos hídricos,

se alinea con estándares ambientales más estrictos y contribuyó a la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones.

Ambos objetivos, diseñar proyectos con fuentes de agua específicas y mejorar las estrategias de control y tratamiento, demuestran un enfoque proactivo hacia la gestión responsable de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente en el contexto de las operaciones industriales.

6.7.5 Fortalezas y debilidades de la desaladora de la minera Los Bronces y su entorno

Anglo American y su minera Los Bronces se enfocan en optimizar la gestión del agua, especialmente la fresca. Capturan las aguas contactadas no desviables, cumplió con permisos y normativas vigentes (Reporte de Sustentabilidad, 2022), así como con restricciones de las autoridades y usuarios. La empresa seguirá sus procesos mediante tecnologías innovadoras y buscará alternativas como el uso de agua desalinizada o industrial. Además, se compromete a reducir la extracción de agua fresca para 2030, buscando transformar la minería y mejorar la calidad de vida.

Desde 2015, la minera Los Bronces ha estado enfocada en reducir su consumo de agua fresca, una medida impulsada por la creciente escasez hídrica que afecta tanto a la región como al mundo. La empresa busca constantemente tecnologías que favorezcan la reutilización y recirculación del agua, así como la adquisición de agua de terceros para mantenerse competitiva. Este último enfoque ha sido crucial, aunque costoso, ya que la empresa ha comenzado a utilizar aguas servidas, previamente tratadas, en sus procesos, lo que representa un 8% de su presupuesto anual. Inicialmente, este gasto era absorbido por la compañía gracias al ciclo alcista del cobre, pero actualmente, siendo la minera con los costos más elevados del mercado, esta práctica ha dejado de ser sostenible.

La adquisición de agua tratada finalizó en el tercer trimestre de 2023. Resultó en la interrupción de la entrega de 120 l/s de agua a la operación. Este hecho presenta un nuevo desafío para la faena, agravado por la reducción del cobre fino presupuestado para este año.

Con el objetivo de hacer frente a esta situación, la minera está en la búsqueda de incorporar agua de mar en sus operaciones. Esta posibilidad parece factible gracias a una planta ubicada en la región de Valparaíso, propiedad de Aguas del Pacífico, que proporcionará agua fresca a la operación con un caudal de 500 l/s. Este aporte cubrirá aproximadamente un tercio de las necesidades hídricas de la minera.

Este salvavidas llega en un momento crucial para la empresa, lo que permite mantener la continuidad de sus operaciones y la producción. Si bien, las actuales regulaciones podrían obligar a la minera a retroceder a la categoría de mediana minería. Esto impulsa a la compañía a buscar la reducción de costos y el aumento de la

productividad para evitar descender de categoría, medidas que se implementarán hasta que entre en funcionamiento minera Los Bronces Subterránea. A continuación, se muestran las fortalezas y debilidades de minera Los Bronces en el actual escenario hídrico.

Tabla 18 Fortalezas y debilidades de la desaladora para minera Los Bronces

Aspectos	Fortalezas	Debilidades
Eficiencia en la extracción	Plan de monitoreo de los causes que alimentan la operación con agua fresca.	Consumo constante de agua fresca, por no contar con agua de terceros o desalinizada.
Impactos ambientales	Gestión eficaz del agua.	Conflicto con las comunidades aledañas por el uso de agua fresca.
Desafíos socioeconómicos	Generación de empleos en la construcción de su planta y desaladora.	Mantener a las personas aledañas a la faena cuando entren en operación las plantas.
Consumo energético	Disminuye en consumo actual debido al menor procesamiento y uso de las plantas y mina.	Disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Fuente: Elaboración propia

La minera Los Bronces de acuerdo con su informe de sustentabilidad del año 2021 y 2022 tiene como objetivo dejar de utilizar agua fresca en sus procesos para el año 2030. Para lograr esto, ha implementado diversas medidas, las cuales se mencionan a continuación:

Eficiencia hídrica: Aumentó la eficiencia hídrica a un 91% en 2022 mediante la reutilización y reciclaje del agua utilizada en operaciones mineras.

Reemplazo de agua fresca: Redujo la extracción de agua fresca en un 58% en 2022, sustituyéndola por agua industrial no apta para consumo humano.

Proyecto hídrico integrado: Desarrolla un proyecto a largo plazo en colaboración con socios de distintas industrias. En una primera etapa, se planea acceder a agua de mar desalinizada para cubrir el 45% de los requerimientos hídricos. En una segunda etapa, se explorará un intercambio de agua desalinizada por agua servida tratada.

Investigación y desarrollo: Actualmente trabaja en tecnologías innovadoras, como el uso de flotación mediante recuperador de partículas gruesas y apilamiento hidráulico deshidratado de relaves, para disminuir el consumo de agua.

La empresa se enfoca en la optimización de procesos, el reciclaje de aguas residuales, la concientización y educación de los empleados, la innovación en desalinización, la reforestación, la gestión integrada del agua y la colaboración con comunidades locales. Estas medidas buscan reducir el consumo de agua, además contribuir a la sostenibilidad y responsabilidad ambiental de la empresa.

7. IMPACTO ECONÓMICO DE LAS DESALADORAS EN LA INDUSTRIA MINERA EN EL ESCENARIO DE LA ESCASEZ HIDRICA

El agua desempeña un papel crucial en la industria minera, especialmente en el tratamiento de reservas de minerales de baja ley, donde los procesos de extracción y procesamiento son más intensivos. Esto subraya la relevancia crítica del recurso hídrico. La creciente demanda de agua en las operaciones mineras ha impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras, como la desalinización y el uso de agua de mar. La construcción de plantas desaladoras ha despertado un notable interés y ha incrementado la inversión, marcando un avance significativo hacia una minería más sostenible en términos de gestión del agua.

La reducción de la dependencia de las aguas continentales a través de la desalinización puede tener impactos positivos al mitigar los efectos adversos en los ecosistemas acuáticos y en las poblaciones cercanas a las operaciones mineras. No obstante, este avance no está exento de desafíos considerables.

La instalación y operación de plantas desaladoras presentan desafíos técnicos y económicos significativos. La inversión inicial y los costos operativos asociados suelen ser considerables, y requiere un compromiso a largo plazo por parte de la industria minera (en promedio las mineras en estudio tienen una vida útil de 20 años). Además, la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de desalinización es un factor crucial que impulsa a las minas a considerar fuentes de energía limpia y eficiente para garantizar la sostenibilidad ambiental de la operación.

Este enfoque hacia la responsabilidad hídrica en la minería subraya la importancia de abordar no solo los beneficios potenciales, como la reducción de impactos en los ecosistemas acuáticos y las comunidades locales, y también los desafíos inherentes, como los costos y la demanda de energía asociados con la desalinización. Lograr un equilibrio adecuado entre la extracción de minerales y la preservación de recursos hídricos cruciales se convierte en un objetivo clave para una minería sostenible y responsable.

Más allá de los beneficios inherentes a la desalinización, que permiten aumentar la disponibilidad hídrica, su aplicación conlleva una serie de impactos que las empresas han debido integrar en sus operaciones.

Uno de los efectos asociados al mayor uso de agua de mar, especialmente desalinizada, es el aumento en el consumo de energía. “Las consecuencias de este incremento energético dependen de cómo se genere esa energía. Este factor plantea un desafío adicional, ya que, a menos que se utilicen fuentes de energía renovable como la solar, el uso de combustibles fósiles puede aumentar las emisiones de CO₂, contribuyendo al calentamiento global y yendo en contra de los esfuerzos de mitigación y carbono neutralidad” (Cisternas, 2016).

Es un tema crítico en el contexto de la gran minería, especialmente en regiones áridas y durante periodos de escasez hídrica “El suministro de agua de mar es fundamental para la industria minera, pero este enfoque conlleva un desafío económico significativo. En particular, las faenas mineras alejadas de la costa y a una mayor altitud sobre el nivel del mar enfrentan dificultades adicionales” (Joaquin Villarino, 2023).

La desalinización y el transporte del agua hacia las faenas mineras requieren una cantidad considerable de electricidad, que generalmente tiene un costo elevado. Por ejemplo, en el caso de faenas ubicadas a 3.000 metros sobre el nivel del mar, los costos pueden alcanzar hasta los US\$5 por metro cúbico de agua desalinizada. Estos costos pueden tener un impacto importante, y puede llegar a representar hasta un 8% en los valores de la producción minera.

Ante esta situación, el sector minero se ha centrado en la utilización eficiente del recurso hídrico. “La recirculación del agua se ha mantenido en un nivel superior al 70%, lo que significa que solo alrededor del 30% del agua utilizada en la minería es agua fresca. Además, el consumo de agua por tonelada de mineral procesada en las plantas concentradoras ha disminuido significativamente, y paso de 0,57 metros cúbicos por tonelada en 2013 a 0,36 metros cúbicos por tonelada en 2018, como destaca el líder gremial” (Dirección de Estudios y Políticas Públicas, 2019).

Estas medidas demuestran los esfuerzos de la industria minera por abordar el desafío de la escasez de agua y los altos costos asociados a la desalinización, al mismo tiempo que se busca mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos en la producción de minerales.

7.1 Comparación económica de las mineras en estudio en consumo de agua de mar

7.1.2 Planta referencia

Se entiende que, hasta la fecha actual, no se ha logrado acceder a los datos esenciales sobre la operación y costos de la planta RO, como el CAPEX, OPEX y los costos unitarios de producción de agua. Para avanzar en la evaluación, se sugiere sustituir esos datos faltantes con información de dominio público de otras plantas RO en Chile que tengan características técnicas similares.

Hoy se tiene acceso a información sobre la planta de minera Escondida RO² se podría usar como referencia para el análisis, se propone utilizar datos clave de esta planta en lugar de los datos específicos de los proyectos que aún no se han obtenido. Por otra parte, es importante destacar que los detalles comerciales específicos del proyecto y las especificaciones técnicas que no están disponibles públicamente no pueden ser compartidos debido a su naturaleza confidencial.

² RO Osmosis inversa

Esta propuesta permitiría avanzar con la evaluación, utilizando información sustitutiva, al mismo tiempo que se garantiza la confidencialidad de los datos sensibles de los proyectos en análisis.

Para iniciar la comparación económica, es esencial examinar los volúmenes financieros actualmente implicados en el mercado del agua. Este análisis implica considerar los dos tipos de agua predominantes utilizados en las mineras: agua continental y agua de mar, cada una de las cuales conlleva un costo asociado. En este contexto, y de acuerdo con un estudio de (Cochilco 2016) el agua continental presenta un costo aproximado de 1,6 dólares por metro cúbico, mientras que el agua de mar tiene un costo de alrededor de 5,1 dólares por metro cúbico. Este contraste revela que el costo del agua de mar es tres veces superior al del agua continental, lo cual implica que la industria minera necesita realizar inversiones para hacer frente a este gasto adicional y solventarlo.

La proyección de Cochilco sobre la tendencia a la baja en el costo del agua de mar a lo largo del tiempo se sustenta en cálculos que consideran la creciente oferta de desaladoras. Este descenso previsto en los costos de operación (Opex) y de capital (Capex) de las desaladoras se atribuye al aumento de proveedores en el mercado, esto se representa en la siguiente imagen.

Figura 4 Previsión de costos de desalinización para proyectos de tamaño mediano y grande

Parametro para la mejor clase de plantas de desalinización	año 2016	dentro de 5 años	Dentro de 20 años
Costo del agua (US\$/m ³)	0.8 - 1.2	0.6 - 1.0	0.3 - 0.5
Uso de energía Electrica (kWh/m ³)	3.5 - 4.0	2.8 - 3.2	2.1 - 2.4
Productividad de la membrana (m ³ /membrana)	28 - 47	35 - 55	95 - 120

Fuente: Elaborado a partir de cifras publicadas por International Water Association (2016)

Para realizar las comparaciones de las cinco mineras en estudio, se tomará el ejemplo de minera Escondida, la cual ostenta la posición de ser la minera con el mayor volumen de agua de mar y actualmente domina el 40% del mercado en este recurso hídrico. Al dirigir la atención hacia ellos, podemos desentrañar el costo asociado a la inversión de la desaladora y comprender las implicaciones que esto tiene para cada minera.

Para evaluar el impacto de la inversión en desaladoras y la expansión de operaciones en cada una de las mineras, se llevará a cabo una comparación de los montos invertidos en estas iniciativas. Este análisis proporcionará una visión precisa de la eficiencia y adaptabilidad de cada operación minera en este contexto.

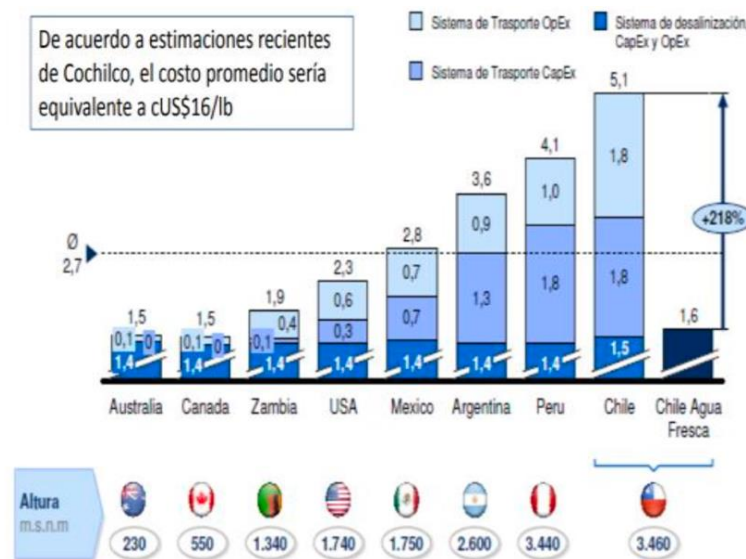
La introducción del agua de mar ha marcado un hito disruptivo en el ámbito minero. Alteró sustancialmente las reglas del juego. Aquellas mineras que han incorporado agua de mar en sus operaciones han demostrado ser más productivas (al mediano y largo plazo), sino que han logrado mantener o aumentar su producción mediante el uso de agua de mar. Para un análisis más profundo, se destacan tres áreas clave del análisis.

1. Transporte costo operación.
2. Transporte costo capital.
3. Los costos tanto de Opex como de Capex vinculados a la desalinización.

Cada una de estas dimensiones juega un papel vital en la entrega de evidencia que respalda la transformación estratégica a largo plazo de estas empresas.

Es esencial considerar el contexto del año 2013, donde el uso de agua de mar en la minería era mínimo. En ese entonces, el costo asociado ascendía a 5.1 dólares por metro cúbico, desde la planta desaladora hasta la elevación del agua en la minera, esto representa 1,48 dólares cada 1000 m.s.n.m³ (dólar al año 2013), esto se representa en la siguiente imagen.

Figura 5 Costo del agua de mar en minería



Fuente: Consejo Minero – McKinsey (2013)

Como se observa en la Figura N°5, existe una relación evidente entre la altitud de las mineras y el costo de producción de agua desalada. En Chile, debido a su condición

³ M.S.N.M: metros sobre el nivel del mar

geográfica, muchas mineras se encuentran ubicadas a gran altura geográfica y alejadas de la costa. Este factor geográfico influye directamente en el costo de producción de agua desalada.

La representación gráfica revela que, a mayor altitud, los costos de producción de agua desalada tienden a incrementarse. Este fenómeno se atribuye al aumento del Opex de transporte y al Capex de transporte el sistema de desalinización tiene una variación mínima independiente de la altura. El transporte de agua desalada desde la costa hasta las operaciones mineras en regiones montañosas implica mayores desafíos logísticos y, por ende, mayores costos asociados.

7.1.3 Análisis comparativo

Para llevar a cabo un análisis económico exhaustivo, es esencial explicar los costos asociados a la minera Escondida quien será la minera tipo gracias a los datos obtenidos, centrándonos tanto en los gastos operativos (Opex) como en los gastos de capital (Capex). En particular, la minera incurre en un costo de 1,25⁴ dólares por cada metro cúbico de agua de mar por cada mil metros sobre el nivel del mar. El costo total de elevar el agua de mar desde el punto de succión hasta el lugar de almacenamiento es de aproximadamente 3,9 dólares por metro cúbico de agua desalada.

Para clarificar cómo se obtuvo esta cifra, se realizó una regla de tres simple, se utilizaron las siguientes variables: el costo por cada mil metros de altura (1,25), la altura de minera Escondida (3.100), y la variable "X" representa el costo total. El resultado de este cálculo revela que el costo de minera Escondida por metro cúbico de agua de mar se sitúa alrededor de los 3,9 USD/m³.

Variables:

Costo cada mil metros de altura: 1.25 USD/m³

Altura de la minera Escondida: 3.100 m.s.n.m

Variable: X

Se realiza la regla de tres simple:

$$\frac{1000}{3100} = \frac{1.25}{x} \quad x = 3,875 \text{ USD/m}^3$$

Este costo total incluye diversos elementos, tales como el costo operativo y de capital asociados al transporte, así como los costos de capital y operativos relacionados con el sistema de desalinización. Es importante destacar que el Capex de la desaladora

⁴ Costo informado por personal de confianza compañía BHP

de minera Escondida se deprecia aceleradamente, lo que contribuye a que su costo sea considerablemente más bajo en comparación al reflejado en la figura N°5.

Con estos datos se realiza la siguiente tabla, la que indica los costos aproximados de cada una de las mineras en estudio.

Tabla 19 Comparación de las cinco mineras en estudio

Minera	Altura	Capacidad l/s	Costo (USD/M3)
Escondida	3,100	3,850	3.875
Los Pelambres	3,600	400	4.5
Doña Inés de Collahuasi	4,400	1,025	5.5
Quebrada Blanca 2	4,400	1,000	5.5
Los Bronces	3,200	500	4

Fuente: Elaboración propia en fase a informes de sustentabilidad y EIA

Como se muestra en la tabla N°19 la altura de cada minera influye de forma directa al costo por metro cubico de agua de mar desalada. La figura N°5 representa como se calcula es costo del agua de mar, en esta ocasión como el Capex de minera Escondida esta depreciado aceleradamente las dos variables predominantes son el Opex de transporte y el sistema de desalinización de Capex y Opex, este último tiene una variación minina, y podría considerarse constante para efecto del cálculo.

Se entiende que cada una de las mineras ha realizado una inversión significativa para satisfacer las necesidades de sus operaciones, implementó mejoras sustanciales en sus procesos y buscó la sustentabilidad a largo plazo. Además, buscaron aumentar su producción expandiendo sus operaciones, ya que contaban con el recurso más importante que es el agua. Es interesante notar que, según el análisis realizado en este estudio, cada empresa minera comenzó su trayectoria en momentos diferentes y enfrentó problemas únicos, para los cuales desarrollaron soluciones específicas.

Esta diversidad en los tiempos de inicio desafía a las compañías a dar soluciones y resalta la complejidad y la individualidad de cada operación minera. Es común que las empresas adapten sus estrategias y enfoques según sus circunstancias y necesidades particulares. La inversión en mejoras y la búsqueda de la sostenibilidad indican un compromiso a largo plazo con prácticas operativas responsables y eficientes.

En el marco de este análisis, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de las inversiones de diversas mineras a lo largo del tiempo mediante un enfoque de regresión. El objetivo principal de este análisis fue comprender la variación del valor del dinero a lo largo de las distintas etapas temporales. En una fase inicial, se procedió a estandarizar las inversiones de las cuatro mineras seleccionadas al año 2017, utilizando como referencia la inversión de minera Escondida. Este proceso, crucial para igualar los años de comparación, incorporó una revisión detallada de la inflación acumulada del dólar.

Posteriormente, todas las inversiones ajustadas al año 2017 fueron trasladadas retrospectivamente al año 2000. Esta segunda etapa del análisis permitió una comparación detallada de las inversiones en cada año, proporcionando una comprensión más profunda de cómo se modificaba la valoración de las inversiones a lo largo del tiempo. El propósito fundamental de este enfoque estratégico radica en verificar y comprender cómo una visión prospectiva más sólida por parte de las mineras podría haber tenido un impacto positivo en su rendimiento actual.

Para ilustrar y respaldar lo expuesto en el párrafo anterior, se utiliza la fórmula del valor presente. Como ejemplo, se toma la inversión de minera Escondida y se ajusta al año 2000, se emplean los datos de la inflación acumulada del dólar entre 2000 y 2017, y se considera un período de 17 años.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

Donde:

VP: Valor presente (en el año 2000)

VF: Valor futuro (en el año 2017)

i: Tasa de inflación acumulada (inflación acumulada del 2000 al 2017 USD es 2.10%)⁵

n: cantidad de años (17 en este caso)

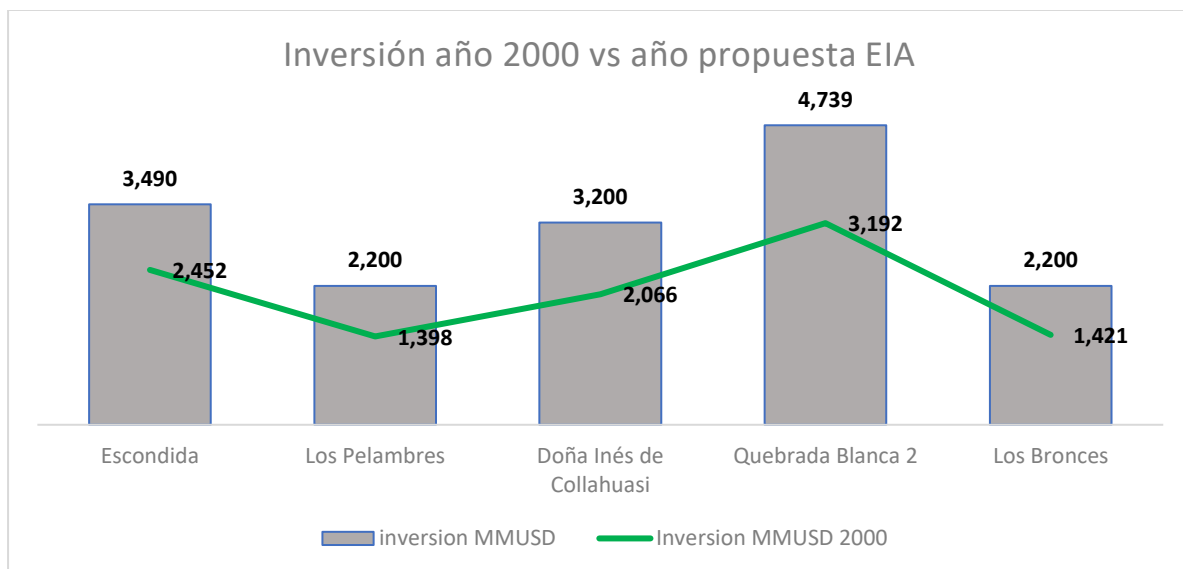
Reemplazamos:

$$VP = \frac{3.490}{(1 + 2.10\%)^{17}} \quad VP = 2,452 \text{ MMUSD}$$

El resultado obtenido muestra que el valor del dinero en el año 2000, ajustado por inflación, era inferior a la inversión original de minera Escondida. Este mismo principio se aplicará a las demás mineras en estudio, lo que evidencia que sus inversiones deberían ser considerablemente más bajas. Para visualizar este concepto, se presenta una gráfica que compara la inversión inicial de cada empresa minera, ajustada por inflación y trasladada al año 2000. Esta representación gráfica facilita la observación de las variaciones en las inversiones a lo largo del tiempo, permitiendo identificar tendencias clave, esenciales para evaluar la estrategia de inversión global adoptada por cada compañía minera.

⁵ Inflación media dólar USD 2000 al 2017.
Inflación media dólar USD 2017 al 2019 2,13%
Inflación media dólar USD 2017 al 2021 2,54%

Gráfico 3 Inversiones de cada minera llevado al año 2000



Fuente: Elaboración propia en fase a informes sustentabilidad y EIA, cada uno de los cálculos es en base a la inflación media del dólar.

La Gráfica N°3 destaca una tendencia significativa: los valores del dinero a lo largo del tiempo para cada inversión son considerablemente más bajos en comparación con las inversiones declaradas por cada minera. Este fenómeno se atribuye principalmente a la inflación acumulada del dólar. Es esencial reconocer que la variación en los valores de inversión a lo largo del tiempo, ajustados por inflación, ofrece una perspectiva más precisa y realista de la evolución financiera de cada proyecto minero.

Además, es fundamental considerar el contexto regulatorio de la década del 2000. Durante ese período, las regulaciones eran menos estrictas y más permisivas, lo que podría haber facilitado la implementación de estrategias de inversión más eficientes por parte de los proyectos mineros. Esta flexibilidad regulatoria influyó en las decisiones de inversión y estrategias adoptadas por las empresas mineras, permitiéndoles adaptarse de manera más ágil a las condiciones del mercado.

La combinación de la inflación acumulada y el entorno regulatorio menos riguroso durante la década del 2000 contextualiza las fluctuaciones en las inversiones mineras. Proporciona una visión más completa de la dinámica económica y regulatoria que impactó en las decisiones de inversión en proyectos mineros durante ese período. Este análisis contextualizado es esencial para comprender las razones subyacentes detrás de las variaciones en las inversiones y sus implicaciones en el rendimiento económico de las mineras en ese tiempo específico.

7.1.4 Caso hipotético de inversión de las mineras en estudio, tal como lo hizo la minera Escondida

El análisis del impacto del uso de agua de mar en los procesos mineros, especialmente en el contexto de las expansiones, revela una serie de consideraciones clave. La implementación de desaladoras por parte de mineras como: Los Pelambres, Doña Inés de Collahuasi y Quebrada Blanca ha sido crucial para garantizar un suministro constante de agua. Este cambio estratégico permite la independencia hídrica, elimina la dependencia de fuentes de agua dulce y contribuye tanto a la sostenibilidad ambiental como operativa.

La exclusión de minera Los Bronces en este análisis, debido a su falta de expansión hasta 2030, resalta la importancia de la temporalidad en las decisiones estratégicas. La anticipación y la adopción temprana de tecnologías sostenibles, como la desalación, han demostrado ser ventajosas desde un punto de vista ambiental, también desde una perspectiva económica.

El ejemplo de minera Escondida destaca la visión proactiva como clave para el éxito a largo plazo. Al convertirse en la principal productora de agua desalada y utilizar exclusivamente agua de mar en sus operaciones, ha establecido un modelo que otras mineras podrían haber seguido para garantizar autonomía y estabilidad.

El escenario hipotético sugiere que las inversiones realizadas en desaladoras en años anteriores se encontrarían actualmente en proceso de amortización, generando ingresos adicionales para las operaciones mineras (Los Pelambres, Quebrada Blanca y Doña Inés de Collahuasi). Este enfoque habría proporcionado una ventaja competitiva y estabilidad financiera a largo plazo. La reflexión sobre esta situación subraya la importancia de la planificación estratégica a largo plazo y la adopción proactiva de prácticas sostenibles. En resumen, el impacto del uso de agua de mar, especialmente a través de desaladoras, tiene implicaciones ambientales, además desempeña un papel crucial en la viabilidad económica y operativa de las mineras. La anticipación y la adopción temprana de tecnologías sostenibles emergen como factores clave para el éxito en el sector minero.

7.1.5 Caso minera Los Bronces

La diferencia sustancial en los costos de la minera Los Bronces en comparación con otras mineras se atribuye a su situación particular. A diferencia de las demás, minera Los Bronces no tiene en curso una expansión y tampoco cuenta con una desaladora exclusiva. En lugar de eso, dependen de una desaladora externa, lo que introduce costos adicionales en la operación. Este factor impacta significativamente en el cálculo presentado en la tabla N°19, ya que el agua suministrada por la desaladora llega a las tórtolas, la cota más baja de toda la operación.

El desafío adicional radica en la elevación del agua desde las tórtolas hasta Los Bronces, ubicado a 3,200 metros de altura donde se encuentra el embalse que abastece a toda la faena. Según la gerencia de agua, el costo de suministro de agua más la elevación al embalse asciende a aproximadamente 4.4 dólares por metro cúbico. Este valor representa un aumento del 10% en comparación con lo previsto en la tabla N°19.

El aumento en los costos de la minera Los Bronces se justifica por la necesidad de implementar nuevas bombas, sistemas de tuberías, instalaciones y un incremento en el consumo eléctrico. Esta medida es esencial ya que la capacidad instalada actual no es suficiente para elevar todo el volumen de agua necesario para las operaciones de la mina. Este análisis detallado resalta la complejidad de las operaciones mineras y subraya la importancia de considerar factores geográficos y logísticos específicos al evaluar los costos asociados.

Minera Los Bronces es más costoso en comparación con minera Escondida, que mantiene su liderazgo con un costo de 3,9. Un factor crucial en el estudio es el volumen de agua utilizado, y minera Escondida destaca al procesar 3,850 l/s. Además, minera Escondida es la única faena que utiliza el 100% de agua de mar, en comparación con minera Los Bronces, que, cuando comience a recibir agua en 2025 según lo presupuestado, solo cubrirá el 33% del volumen necesario para operar. Este análisis subraya la relevancia del uso eficiente de los recursos, en particular del agua, en la industria minera. La comparación entre minera Los Bronces y minera Escondida destaca la necesidad de estrategias adaptativas y consideraciones medioambientales para optimizar las operaciones y reducir los costos en un contexto de cambios en la disponibilidad y el acceso a los recursos hídricos.

8. CONCLUSIONES

En las últimas dos décadas, la industria minera ha emprendido esfuerzos significativos para abordar de manera proactiva la gestión del agua, se enfoca en la reducción del consumo unitario, la reutilización del recurso y la adopción de tecnologías avanzadas de desalación y consumo de agua de mar.

La relevancia de una gestión adecuada del agua se intensifica aún más al considerar la transición hacia la producción de bienes con elevados requerimientos de minerales como cobre, molibdeno y otros recursos fundamentales para la economía chilena. En este sentido, la industria minera desempeña un papel crucial en la extracción de estos minerales, pero también en la implementación de prácticas responsables y sostenibles que aseguren la disponibilidad y calidad del agua a largo plazo.

En este contexto de cambios regulatorios y desafíos ambientales, la colaboración entre sectores, la implementación de tecnologías innovadoras y la adopción de políticas de gestión del agua eficientes se presentan como elementos clave para garantizar un equilibrio sostenible entre el desarrollo industrial y la preservación de nuestros recursos hídricos. La conciencia compartida sobre la importancia crítica del agua y su gestión responsable se erige como un paso esencial hacia un futuro más sostenible y resiliente para Chile.

Las mineras, como Doña Inés de Collahuasi, Quebrada Blanca y Los Pelambres siguen el ejemplo de BHP, hacia la implementación de desaladoras. Este desarrollo progresivo indica un compromiso compartido en reducir la dependencia del agua continental y aumentar el uso sostenible de agua de mar.

Impacto positivo en el medio ambiente y las comunidades. La adopción de desaladoras se percibe como una contribución significativa al medio ambiente y a las comunidades locales. La disminución del uso de agua continental y el aumento gradual del uso de agua de mar son vistos como pasos positivos para evitar conflictos hídricos y mejorar la reputación de las mineras en el ámbito comunitario.

El caso de Anglo American resalta los riesgos asociados con no visualizar el escenario hídrico a largo plazo. Las detenciones por agua desde 2018 y la dependencia de fuentes externas, incluido el arrendamiento de desaladoras, indican desafíos significativos que podrían afectar la producción y la sostenibilidad a largo plazo.

Minera Los Bronces muestra un compromiso serio con la gestión sostenible del agua y la reducción de su impacto ambiental. En cierta medida, la dependencia continua del agua fresca y los desafíos económicos actuales, a pesar de la incorporación de agua de mar, sugieren que hay áreas donde la empresa aún puede mejorar. La innovación tecnológica, la colaboración continua y un enfoque equilibrado en la eficiencia hídrica, la responsabilidad social y económica, así como la sostenibilidad energética, son esenciales para superar los desafíos presentes y alcanzar los objetivos futuros.

Minera Los Pelambres, además de utilizar agua de mar, destaca por su eficiencia en la recirculación del agua. Redujo significativamente el consumo de agua continental. Su inversión más alta se justifica por su enfoque líder en sostenibilidad y compromiso con prácticas avanzadas en operaciones mineras.

A pesar de los notables beneficios, la descarga de salmuera plantea desafíos ambientales, especialmente en la falta de regulación específica. Es crucial implementar medidas adicionales y una regulación más estricta para garantizar la preservación del entorno marino y la sostenibilidad a largo plazo.

La gestión sostenible del agua en la industria minera chilena es esencial para el desarrollo económico y la preservación ambiental. La adopción de prácticas avanzadas, la colaboración entre empresas y sectores, y una regulación más rigurosa son fundamentales para garantizar un futuro sostenible y resiliente para Chile.

Este análisis individualizado también destaca la importancia de la flexibilidad y la capacidad de adaptación en la industria minera, donde las condiciones pueden variar ampliamente entre diferentes ubicaciones y momentos en el tiempo. La diversidad de experiencias y soluciones proporciona valiosas lecciones que pueden aplicarse a futuros proyectos y contribuir al desarrollo sostenible de la industria minera en su conjunto.

La conciencia compartida sobre la importancia crítica del agua y su gestión responsable emerge como un elemento esencial para un futuro más sostenible y resiliente en Chile. No obstante, la experiencia de casos como Anglo American y su minera Los Bronces subraya la necesidad de una visión a largo plazo, la flexibilidad y la adaptabilidad para superar los desafíos persistentes.

La inversión en tecnologías avanzadas, la colaboración entre sectores, y una regulación más estricta son factores cruciales para garantizar el equilibrio sostenible entre el desarrollo industrial y la preservación de los recursos hídricos. Aunque la adopción de desaladoras ha tenido un impacto positivo en el medio ambiente y las comunidades, es esencial abordar los desafíos ambientales asociados, especialmente la descarga de salmuera, mediante medidas adicionales y regulaciones específicas.

El camino hacia una gestión sostenible del agua en la industria minera chilena implica una combinación de liderazgo visionario, colaboración continua, innovación tecnológica y una regulación adaptativa. Aprendizajes clave de experiencias pasadas deben guiar el desarrollo futuro, contribuir al desarrollo sostenible de la industria minera en su conjunto.

La gestión sostenible del agua en la industria minera chilena es crucial para el equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación ambiental. La colaboración entre sectores, la innovación tecnológica y una regulación más rigurosa son esenciales para un futuro sostenible y resiliente.

BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, A. (2022). *Lista de grandes amenazas para el planeta a corto y largo plazo*. FEM. <https://www.france24.com/es/europa/20220111-fem-riesgos-globales-desigualdad-cambio-climatico>
- Anglo American Asegura Suministro de Agua Desalinizada para Abastecer a Los Bronces y Apoyar a Comunidades. (23 de noviembre de 2022). <https://chile.angloamerican.com/medios/press-releases/pr-2022/2022-11-23.aspx>
- Anuario Balanza de Pagos (2015). https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/enlaces/Informes/AnuariosBDP/anuario_BPD_2015.html
- Anuario de la Minería de Chile (2020). *Servicio Nacional de Geología y Minería*. https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario_de_%20la%20Mineria_de_Chile_2020_290621.pdf
- Aporte de la minería a la economía nacional – Transparencia Minera (2022). <https://www.transparenciaminera.cl/aporte-de-la-mineria-a-la-economia-nacional/>
- Atlas del agua (2016). Dirección general de aguas. <https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>
- Balbontín, J. (febrero de 2019). *Estudio de interconexión hídrica*. Informe Final SMICEChile. <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/05/Interconexión-Hídrica-IFinal-Rev-C.pdf>
- BHP (2024). *Water*. <https://www.bhp.com/es/sustainability/environment/water>
- BHP Revisa sus Próximas Acciones Luego de Cesar la Extracción de Agua en Monturaqui (5 de marzo de 2020). El Mercurio de Calama <https://www.mercuriocalama.cl/impresa/2020/03/05/full/cuerpo-principal/6>
- Científicos de Australia y Corea explican impacto de la desalinización en los ecosistemas marinos (22 de abril de 2021). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/efectos-desalinizacion-ecosistemas-marinos-ciencia#:~:text=Según%20comenta%20Gies%2C%20el%20uso,y%2058%20por%20ciento%20salmuera>
- Comisión Chile del Cobre (2012). *Actualización de la información del consumo de agua de la minería del cobre al 2012*. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/CONSUMO-DE-AGUA-EN-LA-MINERIA-DEL-COBRE-2012.pdf>

Conoce Nuestros Reportes de Sustentabilidad Collahuasi.

<https://www.collahuasi.cl/sustentabilidad/reportes-de-sustentabilidad/>

Cosín, C. (21 de marzo de 2019). *La evolución de las tarifas en desalación (Parte II)*. Agua. <https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/evolucion-tarifas-desalacion-parte-ii>

Datos Macro (9 de abril de 2021). *PIB de Chile*.

Datosmacro.com. <https://datosmacro.expansion.com/pib/chile?anio=2020>

De la Fuente, J.A, Ovejero. M, Queralt, I. (2008). *Gestión medioambiental de salmueras en plantas de desalación marina*. <https://core.ac.uk/download/pdf/36029048.pdf>

Desalación para el beneficio económico y social de Latinoamérica. (14 de febrero de 2022). Retema. <https://www.retema.es/actualidad/desalacion-para-el-beneficio-economico-y-social-de-latinoamerica>

Dirección de Estudios y Políticas Públicas (2019). *Consumo de agua en la minería del cobre al 2019*. Comisión Chile del cobre.

https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2020%2010%2030%20Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%20al%202019_version%20final.pdf

Dirección de Estudios y Políticas Públicas (2015). *Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2026*. Comisión Chilena del Cobre.

[https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Proyeccion de consumo de agua 2015 al 2026.pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Proyeccion%20de%20consumo%20de%20agua%202015%20al%202026.pdf)

Dirección de Estudios y Políticas Públicas Cochilco (25 de abril de 2022). *Proyección del consumo de agua en la minería del cobre al 2032*. Comisión Chile del cobre.

<https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Ppt%20proyeccion%20agua%20y%20energía%202020.pdf>

Encuesta de Bienestar Social (2021).

<https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/encuesta-bienestar-social-2021>

Escondida Pone Fin a la Extracción de Agua de Acuíferos Altoandino (4 de febrero de 2020). <https://www.bhp.com/es/news/articles/2020/02/escondida-pone-fin-a-la-extraccion-de-agua-de-acuiferos-altoandinos#>

Feo, J. (2014). *Optimización de Costos en Líneas de Producción para platas desalinizadoras de agua de mar mediante ósmosis inversa en las islas Canarias*.

[Tesis para optar al grado de doctor. Universidad de las Palmas.]

https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11533/2/0312170_00000_0002.pdf

- Financiero, D. (5 de septiembre de 2008). *Escondida presentó EIA para nueva planta desalinizadora*. Diario Financiero. <https://www.df.cl/empresas/escondida-presento-eia-para-nueva-planta-desalinizadora>
- Hernández, A. (2022). *Carlos Foxley, presidente ACADES: “Sin desaladoras, hubiese sido imposible tener el crecimiento que ha tenido Antofagasta”*. Acades. <https://acades.cl/carlos-foxley-presidente-acades-sin-desaladoras-hubiese-sido-imposible-tener-el-crecimiento-que-ha-tenido-antofagasta/>
- IMercados. (2022). <https://imercados.cl/?callbackUrl=%2Fwp-content%2Fuploads%2F2022%2F09%2FMuestra-Catastro-de-Plantas-Desalinizadoras-y-Sistema-de-Impulsion-de-Agua-de-Mar-en-Chile-2022-2023.pdf>
- La Desalación de Agua de Mar y el Vertido de la Salmuera (2012). *Ministerio del medio ambiente*. España. <https://www.chsegura.es/export/sites/chs/descargas/planificaconydma/planhidrologiconacional/informesalternativas/docsdescarga/DesalacionAquaMar.pdf>
- Minera Los Pelambres Confirma que este año Pondrá en Marcha su Planta Desalinizadora. (28 de Julio de 2022). Antofagasta Minerals. <https://www.aminerals.cl/centro-de-informacion/2022/07/28/minera-los-pelambres-confirma-que-este-a%C3%B1o-pondra-en-marcha-su-planta-desalinizadora>
- Minero, P. (27 de marzo de 2020). El agua: Un factor crítico para la industria minera - Portal Minero. Portal Minero. <https://www.portalminero.com/wp/el-agua-un-factor-critico-para-la-industria-minera/>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - Odepa. (8 de enero de 2019). *PIB por clase de actividad económica - ODEPA Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*. ODEPA. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. <https://www.odepa.gob.cl/pib-por-clase-de-actividad-economica>
- Peña, K (25 de octubre de 2021). *Consumo de agua de mar en la minería crece un 30% y uso de recursos continentales siguen a la baja*. Diario Financiero. <https://www.df.cl/empresas/energia/consumo-de-agua-de-mar-en-la-mineria-crece-un-30-y-uso-de-recursos>
- Política de Agua (22 de febrero de 2024). <https://www.teck.com/media/Política-de-Agua.pdf>
- Proyecto QB2 (2017). <https://www.quebradablancafase2.cl/el-proyecto/>
- Reporte de Desarrollo Sustentable y Estados Financieros (2010). *Unidad de negocios cobre*. Anglo American. https://chile.angloamerican.com/~/_media/Files/A/Anglo-American-Group-v5/Chile/medios/reportes/chile-sd-report-2010-sp.pdf

- Reporte de Sustentabilidad (2010). Antofagasta Minerals PLC.
<https://www.antofagasta.co.uk/media/3655/reporte-sustentabilidad-aplc-2010.pdf>
- Reporte de Sustentabilidad (2020). *Desarrollamos minería para un futuro mejor*. Antofagasta Minerals. https://www.aminerals.cl/docs/default-source/archivo/reporte-de-sustentabilidad/reporte-de-sustentabilidad-2020.pdf?sfvrsn=82fcb924_13
- Reporte de Sustentabilidad (2022). *Unidad de negocios cobre*. Anglo American. <https://chile.angloamerican.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group-v5/Chile/medios/reportes/reporte-ds-chile-2022.pdf>
- Reporte de Sustentabilidad Collahuasi (2020). *Mucho más que cobre*. <https://www.collahuasi.cl/wp-content/uploads/2023/08/reporte-sustentabilidad-2020.pdf>
- Reporte de Sustentabilidad Collahuasi (2021). *Mucho más que cobre*. <https://www.collahuasi.cl/wp-content/uploads/2023/08/reporte-sustentabilidad-2021.pdf>
- Reportes de Sustentabilidad (2024). <https://chile.angloamerican.com/sustentabilidad/reportes.aspx>
- Rosas, C. (21 de abril de 2022). *Antofagasta anuncia la expansión de la mina Los Pelambres con un costo extra de \$900 millones*. Rumbo Minero. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/internacionales/antofagasta-anuncia-la-expansion-de-la-mina-los-pelambres-con-un-cost-extra-de-900-millones/>
- Serey, J. (2023). *Riesgo hídrico en la industria minera* [Tesis para optar al grado de magister en gestión y dirección de empresas, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/194619/Riesgo-hidrico-en-la-industria-minera.pdf?sequence=1>
- Suministro Complementario de Agua Desalinizada para Minera Escondida (2017). *Informe consolidado de la evaluación del estudio de impacto ambiental del proyecto*. <https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=e3/e4/aa323a64f152e7343a264d049ab427fe67ec>
- Sysop. (31 de julio de 2018). *Uso del agua en la Industria Minera*. Fluence. <https://www.fluencecorp.com/es/uso-agua-en-industria-minera/>
- Teck.(2018). <https://www.quebradablancafase2.cl/historia/#:~:text=El%20proyecto%20Q uebrada%20Blanca%20Fase,operaciones%20para%20fines%20del%202021>

Anexo

Tipos de agua utilizados en minería y su definición

1. **Agua continental:** se refiere al agua que se encuentra en cuerpos de agua en la superficie terrestre y en acuíferos subterráneos.
 2. **Agua superficial:** esta categoría incluye ríos, arroyos, lagos y embalses. El agua superficial se utiliza a menudo en la minería para abastecer las operaciones, como el riego de mineral o para otros procesos.
 3. **Agua subterránea:** se trata de agua que se encuentra en acuíferos subterráneos. La minería puede extraer agua subterránea para diversas aplicaciones, como el suministro de agua a las operaciones mineras o la prevención de inundaciones en minas subterráneas.
 4. **Agua adquirida por terceros:** en algunas regiones, las empresas mineras pueden adquirir agua de fuentes externas, como empresas de servicios de agua o agricultores locales.
 5. **Agua de mar:** en zonas costeras, la minería puede utilizar agua de mar en sus operaciones. Esta fuente de agua se utiliza, a menudo, en procesos de lixiviación y otros métodos hidrometalúrgicos debido a su disponibilidad en las proximidades de la costa.
 6. **Agua reciclada:** la minería a menudo implementa sistemas de reciclaje de agua para reutilizar el agua utilizada en los procesos mineros. Esto contribuye a la conservación del recurso hídrico y a la sostenibilidad de las operaciones.
 7. **Agua tratada:** en ciertos casos, se requiere tratamiento del agua para que cumpla con los estándares de calidad necesarios para su uso en operaciones mineras. El tratamiento puede implicar la eliminación de impurezas, metales pesados u otros contaminantes. Este caso es el último al que normalmente la minera ocurre, debido al alto costo que este tiene.
- Catastro de proyectos con agua de mar en la minería.

AÑO PUESTA EN MARCHA	PROPIETARIO	MINA	REGIÓN	ETAPA DE DESARROLLO	CAPACIDAD DE DESALACIÓN (lts/seg)	CAPACIDAD USO AGUA DE MAR (lts/seg)	Longitud tuberías de transporte de agua (Km)	Observación
2021	BHP BILLITON	Spence Growth Option	Antofagasta	En Construcción	800 (potencial de 1.600)	-	154	Nuevo
2022	AMSA	Proyecto de Infraestructura Complementaria (INCO) – Ampl. Mg Fase I	Coquimbo	Construcción	400	-	150	Nuevo
2022	MANTOS COPPER	Desarrollo Mantoverde	Atacama	En Construcción	agrega 260 (4)	-	42	Expansión
2023	COPEC	Diego de Almagro	Atacama	Factibilidad	-	315	61	Nuevo
2023	TECK	Quebrada Blanca Hipógeno o QB2	Tarapacá	En Construcción	850 (potencial de 1.200)	-	160	Nuevo
2024	HOT CHILI	Productora Óxidos	Atacama	Pre-factibilidad	368	-	62	Nuevo
2024	CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	30	400	112	Nuevo
2024	CODELCO	Planta desaladora Distrito Norte	Antofagasta	Factibilidad	840 (potencial 1.956)	-	160	Nuevo
2024	COLLAHUASI	Collahuasi	Tarapacá	Factibilidad	525 (potencial 1.050) (5)	-	195	Nuevo
2025	MARIMACA CORP	Marimaca	Antofagasta	Pre-factibilidad	-	100	25	Nuevo
2025	AMSA	Distrito Minero Centinela (Esperanza Sur y Encuentro Sulfuros)	Antofagasta	Factibilidad	-	1650 (6)	145	Nuevo
2025	AMSA	Pelambres Futuro (Amp. Mg Fase II)	Coquimbo	Factibilidad	agrega 400	-	150	Expansión
Sin Información	AMSA	Distrito Minero Centinela (reemplazo acueducto existente)	Antofagasta	Factibilidad	-	850 (6)	145	Expansión
2027	FREPORT McMORAN	Concentradora El Abra	Antofagasta	Pre-factibilidad	500	-	-	Nuevo
Multiclientes								
2022	ENAPAC (Energías y Aguas del Pacífico).		Atacama	Aprobado y en factibilidad	2630	-	-	Nuevo
Hipotéticos								
2028	NEWMONT GOLDCORP y TECK	NuevaUnión	Atacama	Factibilidad	700	-	-	Nuevo

TABLA COMPARATIVA, PLANTAS PEQUEÑAS vs. PLANTAS GRANDES

Producción de Agua Tratada (agua desalinizada potable o industrial u otro uso)			# Habitantes que Abastece		Precio exFab Desaladora (sólo equipamiento)	OPEX: Costo Producción x m3 (Con Operador)	Potencia Consumida	Tiempo de Implementación	Dimensiones aprox. Planta desaladora (sin auxiliares)
(m3/día)	(m3/hora)	(l/s)	50 l/d pp (emergencia)	150 l/d pp (estándar)					
(# hab)	(# hab)	(USD)	(USD)	(kWh)	(Meses)	(m2)			
10	0,4	0,1	200	67	65.000	1,46	1,7	3	25
100	4,2	1,2	2.000	667	200.000	0,99	17	6	50
500	20,8	5,8	10.000	3.333	498.000	0,57	73	6	100
1.000	41,7	11,6	20.000	6.667	596.400	0,55	138	6	150
2.000	83	23	40.000	13.333	871.200	0,54	267	6	200
8.640	360	100	172.800	57.600	9.000.000	0,47	1.080	24	5.000
43.200	1.800	500	864.000	288.000	45.000.000	0,47	5.400	60	14.000
86.400	3.600	1.000	1.728.000	576.000	90.000.000	0,46	10.800	72	20.000

Producción de Agua Tratada (agua desalinizada potable o industrial u otro uso)			# Habitantes que Abastece		Recuperación (Producto / Alimentación)	Cantidad de Agua Devuelta al Mar	Salinidad Devolución (35.000 ppm en el Mar)	Factor de Salinidad Devolución vs. Mar	Diámetro de la Cañería de la Devolución	Diámetro de la Cañería de la Devolución
(m3/día)	(m3/hora)	(l/s)	50 l/d pp (emergencia)	150 l/d pp (estándar)						
(# hab)	(# hab)	% Recobro	(l/s)	(ppm)	(veces)	(Pulgadas)	(mm)			
10	0,4	0,1	200	67	25%	0,3	46.667	1,3	0,6	15
100	4,2	1,2	2.000	667	40%	1,7	58.333	1,7	1,3	33
500	20,8	5,8	10.000	3.333	40%	8,7	58.333	1,7	2,9	75
1.000	41,7	11,6	20.000	6.667	42%	16,0	60.345	1,7	4,0	102
2.000	83	23	40.000	13.333	43%	30,7	61.404	1,8	5,5	141
8.640	360	100	172.800	57.600	45%	122	63.636	1,8	11,1	281
43.200	1.800	500	864.000	288.000	45%	611	63.636	1,8	24,7	628
86.400	3.600	1.000	1.728.000	576.000	45%	1.222	63.636	1,8	35,0	888