

# DOCUMENTOS DE PROYECTOS

## La eficiencia en el uso del agua y la energía en los procesos mineros: casos de buenas prácticas en Chile y el Perú

José Luis Lewinsohn  
René Salgado

DOCUMENTOS  
DE PROYECTOS



NACIONES UNIDAS



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

# La eficiencia en el uso del agua y la energía en los procesos mineros: casos de buenas prácticas en Chile y el Perú

José Luis Lewinsohn  
René Salgado



Este documento fue elaborado por José Luis Lewinsohn, Consultor de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), René Salgado, funcionario de la Unidad de Recursos Naturales y Energía de la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL, en el marco de las actividades del proyecto “Cooperación regional para una gestión sustentable de recursos mineros en los países andinos”, que se ejecuta con el apoyo financiero del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

Los autores agradecen los aportes y comentarios de Lothar Winkelmann (BGR), María Denise Nguyen, Aurora Willians (Ministra de Minería), Oscar Landerretche (Presidente del directorio CODELCO), Patricio Chávez Inostroza, Oscar Castañeda, Gerardo Alzamora, Richard Aylwin, René Orellana, (todos funcionarios de CODELCO), Eduardo Jiménez (COCHILCO), Michael Priester, Pedro Pablo Vásquez, Wilfredo Vivanco, Walter Sánchez, Pablo Peña, Carmen Conopuma Rivera, Hugo Plasencia y Edwin Ventura Chuquipul.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/TS.2017/141

Distribución: Limitada

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2017. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago

S.17-01066

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones@cepal.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

## Índice

Resumen .....	7
I. Estado de situación en la utilización de agua y energía en minería de los países andinos: Chile y Perú .....	9
A. Gobernanza, una aproximación a la explotación de los recursos naturales .....	9
B. Contexto de la CEPAL y Naciones Unidas respecto a la gestión de los recursos hídricos .....	14
C. Eficiencia energética/agua .....	18
D. Nexo del agua, la energía y la seguridad alimentaria: la situación de la industria minera en países andinos.....	20
E. Big Data en los procesos productivos mineros.....	22
F. La cooperación BGR y CEPAL en el ámbito de los procesos mineros .....	27
G. Situación en la utilización de agua y energía en la minería de los países andinos: el caso de Chile.....	28
1. Consumo de agua en la minería del cobre .....	29
2. Consumo de energía en la minería del cobre .....	41
H. Situación en la utilización de agua y energía en minería de los países andinos: el caso de Perú .....	46
1. Consumo de agua en la minería del Perú.....	47
2. Consumo de energía en la minería del Perú.....	53
II. Presentación de casos de estudio.....	57
A. Justificación .....	59
B. Procesos mineros—esquemas generales asociados a los casos de estudio .....	59
C. Presentación Caso de estudio en Chile, CODELCO .....	67
D. Presentación Caso de estudio en Perú SOTRAMI .....	69
E. Presentación Caso de estudio en Perú MYSAC.....	71
III. Análisis de los casos de estudio.....	73
A. Casos de estudio.....	73
1. Caso de estudio A de Chile (CODELCO).....	73
2. Caso de estudio B de Chile (CODELCO).....	78
3. Caso de estudio A de Perú (SOTRAMI).....	82
4. Caso de estudio B de Perú (MYSAC) .....	86
B. Problemáticas en el uso eficiente de agua y energía .....	90
C. Oportunidades de mejora para el uso eficiente de agua y energía .....	91

D.	Soluciones tecnológicas y procedimientos innovativos para el uso eficiente de agua y energía.....	92
IV.	Recomendación de políticas para los países andinos en el uso eficiente del agua y la energía en la minería.....	93
A.	Enfoques para el mejoramiento en la utilización del agua y la energía.....	94
B.	Acciones para el uso eficiente del agua y la energía en proceso minero.....	96
V.	Seminario subregional en CEPAL, noviembre de 2016.....	99
	Bibliografía.....	103

#### Cuadros

Cuadro 1	Plantas desalinizadoras construidas y proyectadas en Chile.....	34
Cuadro 2	Planteamiento del problema, impactos, inputs requeridos y resultados esperados.....	74
Cuadro 3	Análisis conceptual de costos y beneficios, traslado de planta SOTRAMI.....	84
Cuadro 4	Análisis conceptual de costos y beneficios, separación sólido-líquido SOTRAMI.....	85
Cuadro 5	Análisis conceptual de costos y beneficios, acceso mecanizado mina, SOTRAMI.....	86
Cuadro 6	Valoración del proyecto de separación sólido-líquido, MYSAC.....	88

#### Gráficos

Gráfico 1	Uso consuntivo de aguas en Chile, 2003, 2010 y 2015.....	31
Gráfico 2	Distribución porcentual de los usos consuntivos por las regiones de Chile, 2015.....	31
Gráfico 3	Consumo de agua continental en la minería del cobre por proceso.....	36
Gráfico 4	Consumo total de agua continental en la minería del cobre por zona.....	37
Gráfico 5	Fuente de extracción de agua en la minería del cobre.....	38
Gráfico 6	Extracción de agua en la minería del cobre según fuente de extracción y por zona.....	38
Gráfico 7	Recirculación de agua en la minería del cobre.....	39
Gráfico 8	Consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral de cobre procesado en Chile.....	40
Gráfico 9	Consumo unitario de acuerdo al tamaño de empresa.....	40
Gráfico 10	Proyección de demanda de agua en la minería del cobre, 2016-2027.....	41
Gráfico 11	Consumo nacional de energía en la minería del cobre en Chile.....	43
Gráfico 12	Consumo nacional de energía en la minería del cobre por proceso en Chile.....	44
Gráfico 13	Proporción del consumo nacional de energía en la minería del cobre por proceso en Chile.....	45
Gráfico 14	Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre en Chile, según casos máximo, esperado y mínimo, 2016-2027.....	45
Gráfico 15	Distribución del consumo de agua por sectores en Perú, 1995 y 2006.....	49
Gráfico 16	Volúmenes de derechos de agua otorgados en Perú según tipo de uso.....	50
Gráfico 17	Volúmenes de derechos de agua en minería por vertiente en Perú.....	52
Gráfico 18	Volúmenes otorgados a la minería por tipo de derecho en Perú.....	52
Gráfico 19	Precipitaciones anuales, Ayacucho y Arequipa.....	53
Gráfico 20	Potencia instalada por fuente en Perú, sobre un total de 12.189 MW, 2015.....	54
Gráfico 21	Venta de energía eléctrica por actividad CIU en Perú, 2015.....	55
Gráfico 22	Venta de energía eléctrica por actividad CIU en Perú, 2015.....	55
Gráfico 23	Venta de energía eléctrica para la minería por departamentos en Perú, 2015.....	56

Gráfico 24	Proyección de consumo final de energía en la industria minero metalúrgico del Perú, considerando un crecimiento del PBI de 4,5% y 6,5%, 2014-2025 .....	56
Gráfico 25	Revolución del proceso de concentración, utilización de agua fresca y el <i>Make Up</i> , en la División Chuquicamata de CODELCO, 1988-2016 .....	78
Gráfico 26	Proyección del proceso de concentración, utilización de agua fresca y el <i>Make Up</i> , en la División Chuquicamata de CODELCO, 2016-2030 .....	81
Gráfico 27	Distribución de tiempos “muertos” del turno laboral, en Mina Caso A de Perú .....	85
Gráfico 28	Indicador de dilución de ley Mina Caso B (MYSAC) .....	89
Gráfico 29	Leyes de mineral Mina Caso B (MYSAC) .....	89
 Recuadros		
Recuadro 1	Desarrollo de un sistema de correa transportadora con capacidad para regenerar energía eléctrica .....	18
Recuadro 2	Disminución de las pérdidas de agua en las piscinas (industriales) de CODELCO .....	35
 Diagramas		
Diagrama 1	CODELCO: utilización del Big Data para la optimización de agua y energía .....	26
Diagrama 2	Distribución de la capacidad total instalada en Chile (22 992,32 MW) .....	43
Diagrama 3	Aplicación general de equipos de conminución, según su rango de productos y eficiencia .....	61
Diagrama 4	Esquema general de un equipo de espesamiento .....	65
Diagrama 5	Vista de parámetros fuera de rangos normales en la operación de los espesadores .....	75
Diagrama 6	Visualización datos y regresiones para el modelo de alerta temprana en la operación de espesadores .....	75
Diagrama 7	Visualización de las variables numéricas en operaciones de espesadores de relave, en tiempo real, en cada División de CODELCO .....	76
Diagrama 8	Visualización de los datos y gráficos últimas 48 horas, asociados al espesador de relaves ER2 de DCH .....	77
Diagrama 9	Visualización del sistema de alertas tempranas SENTINEL en la operación de los espesadores en CODELCO .....	77
 Mapas		
Mapa 1	Estadísticas generales de la actividad minera en Chile .....	29
Mapa 2	Estadísticas generales de la actividad minera en Perú .....	47



## Resumen

El presente estudio constituye uno de los productos comprometidos en el marco de las actividades del proyecto “Promoción de la cooperación minera en los países andinos”, implementado por la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL, con el financiamiento y apoyo del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

El objetivo central es identificar y analizar casos de estudio en países andinos de la región (Chile y Perú) en donde las empresas mineras estén incorporando metodologías, instrumentos y tecnología para el uso eficiente del agua y energía en los procesos de producción.

Estos procesos son y serán un enorme desafío para las empresas extractivas, en especial por los marcos regulatorios y normativos que se están impulsando en el sector, así como la preocupación y presión social respecto del impacto en el medio ambiente, el uso intensivo del agua en zonas de estrés hídrico y la disposición de energía en zonas geográficas complejas.

El primer caso de estudio se relaciona con la gran minería del cobre de Chile. En él se analiza la incorporación de la herramienta *big data* en la toma de decisiones para reconocer alertas tempranas en determinados procesos de la producción (condiciones de riesgo, episodios críticos y otros). El segundo pasa revista al proceso de modernización de las operaciones en el uso del agua y la energía en dos minas de mediana producción de oro en la zona andina de Perú.

预览已结束，完整报告链接和二维码如下：

[https://www.yunbaogao.cn/report/index?reportId=5\\_654](https://www.yunbaogao.cn/report/index?reportId=5_654)

