

# AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE PRETRATAMIENTO DE MINERALES SULFURADOS MEDIANTE EL USO DEL PRETRATAMIENTO QUÍMICO CON $\text{NaCl-H}_2\text{SO}_4$

Preparado por: Jorge Ipinza<sup>1</sup>, Dr. Sc., Ingeniero Civil Metalúrgico

(1) Gerente de Desarrollo y Nuevas Tecnologías, Foster Ingenieros Consultores S.A.

**Mayo del 2023**

# RESUMEN

- La nueva tecnología de pretratamiento químico con  $\text{NaCl-H}_2\text{SO}_4$  abre nuevas oportunidades para la Mediana Minería en Chile.
- La madurez de la nueva tecnología de lixiviación de minerales permite ampliar la lixiviación de óxidos de cobre a minerales de tipo secundario (calcosina y covelina) y más aún a sulfuros primarios (calcopirita, bornita y enargita), favoreciendo la valorización económica de los recursos que pueda proveer la pequeña minería del cobre, constituyéndose en un fomento de la actividad.
- El costo de inversión es menor para las plantas que disponen de operaciones hidrometalúrgicas, la que se estima en un 20% del CAPEX que dio origen a la operación y un aumento de OPEX que debe ser evaluado por la ingeniería.
- Esta tecnología aplicada en Chile está permitiendo rápidamente recuperar la capacidad ociosa de plantas de SX-EW por el agotamiento de los óxidos de cobre.

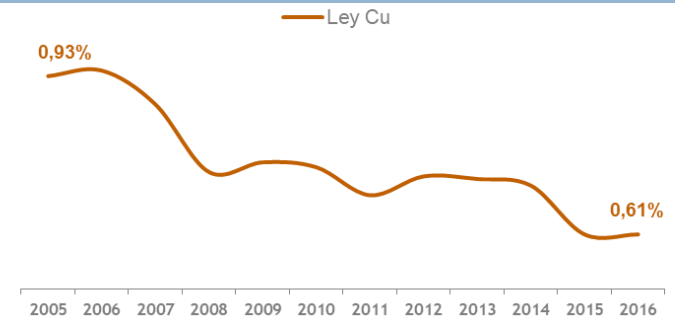
# RESUMEN

- La operación integrada de plantas concentradoras con plantas hidrometúrgicas genera una sinergia positiva que mejora significativamente el negocio minero, debido a que minerales que contienen impurezas que pueden afectar la calidad química del concentrado (As, Sb, Bi, Cd, Zn, entre otros) se pueden tratar alternativamente en la planta hidrometalúrgica.
- Esta es la visión de Codelco-DRT y de Pelambres, que se espera se extienda rápidamente a otros proyectos u operaciones de concentración de minerales.
- Actualmente la tecnología está siendo aplicada en otros países Sudamericanos y en Asia (Kazajistan).

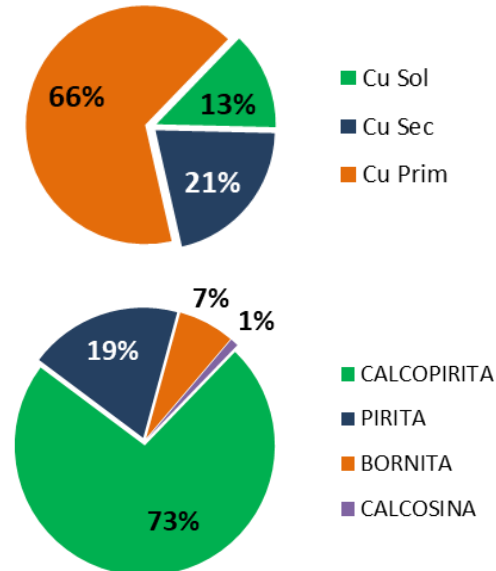


# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- El agotamiento de las reservas ha obligado a las mineras a recurrir a minerales mixtos y sulfuros de baja ley, que no pasaban la ley de corte a principios de la década pero que, poco a poco, se han ido volviendo rentables gracias a las nuevas tecnologías.
- Las bacterias termófilas (que operan en torno a los 70-80 °C) adaptadas a medios altos en cloruro, podrían ser una alternativa . El problema es que es muy difícil lograr esa temperatura en forma natural, en las enormes pilas de lixiviación de las faenas mineras y su cinética lenta.

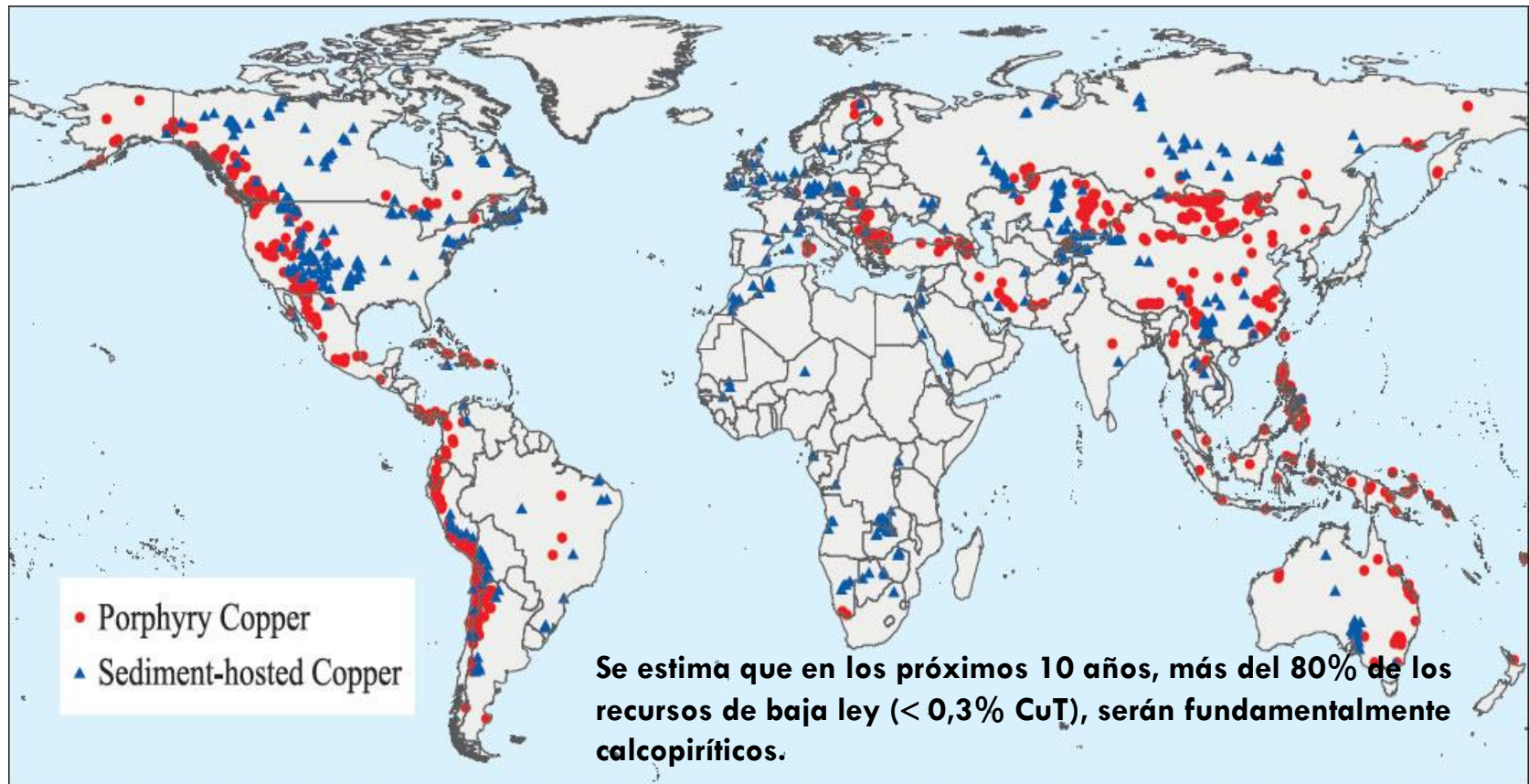


Ref. COCHILCO, Wood Mackenzie



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## Depósitos de calcopirita a nivel mundial.



Ref. Baba et al. (2012). *A Review on Novel Techniques for Chalcopyrite Ore Processing*. International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing, 1(1): 1-16.

# LIXIVIACIÓN DE LOS SULFUROS DE COBRE

- Actualmente, no todos los sulfuros pueden ser lixiviados. Solamente aquellos que son secundarios, son lixiviables, tanto en medio  $\text{NaCl-H}_2\text{SO}_4$ , como con bacterias del grupo de las mesófilas.
- Los sulfuros primarios, como la calcopirita, son escasamente lixiviables con bacterias mesófilas. En este momento, la tecnología indica que se extrae entre un 5% a un 15% Cu, en un año desde minerales de calcopirita.
- En estas condiciones, para un mineral de 0,15% de Cu se requiere tratar en botadero por 3 o más años, para extraer cerca del 30% del cobre contenido.

# LIXIVIACIÓN DE LOS SULFUROS DE COBRE

Disolución en medio ácido y cianuro de varios minerales de cobre.

Especie Mineral	Composición Aproximada	% Aproximado de Disolución	
		En Solución de Acido Sulfúrico	En Solución de Cianuro de Sodio
<b>OXIDOS</b>			
Atacamita	$\text{CuCl}_2(\text{OH})_3$	100	100
Azurita	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	100	100
Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O}$	70	100
Crisocola	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	100	45
Malaquita	$\text{CuCO}_3 \text{Cu}(\text{OH})_2$	100	100
Cobre Nativo	$\text{Cu}$	5	100
Tenorita	$\text{CuO}$	100	100
<b>SULFUROS SECUNDARIOS</b>			
Calcosina	$\text{Cu}_2\text{S}$	8	100
Covelina	$\text{CuS}$	5	100
<b>SULFUROS PRIMARIOS</b>			
Bornita	$\text{Cu}_2\text{FeS}_4$	2	100
Calcopirita	$\text{CuFeS}_2$	2	7

**Nota.-** Las muestras serán pulverizadas finamente (100% malla -150) y el tiempo de reacción es una hora o menos

**Fuente:** THE SEQUENTIAL COPPER ANALYSIS METHOD-GEOLOGICAL, MINERALOGICAL, AND METALLURGICAL IMPLICATIONS (G.A. Parkinson, Cambior USA, Inc. Englewood, CO, R.B. Bhappu, Mountain States R & D International Inc., Vail, AZ, FOR PRESENTATION AT THE sme Annual Meeting Denver, Colorado- March 6-9, 1995)



# PROYECTOS Y OPERACIONES DE LIXIVIACIÓN CON PRETRATAMIENTO QUÍMICO CON $\text{NaCl-H}_2\text{SO}_4$

## MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA

2012 Abre una alternativa para la lixiviación de sulfuros de cobre secundario bajo condiciones mejoradas frente a la biolixiviación.

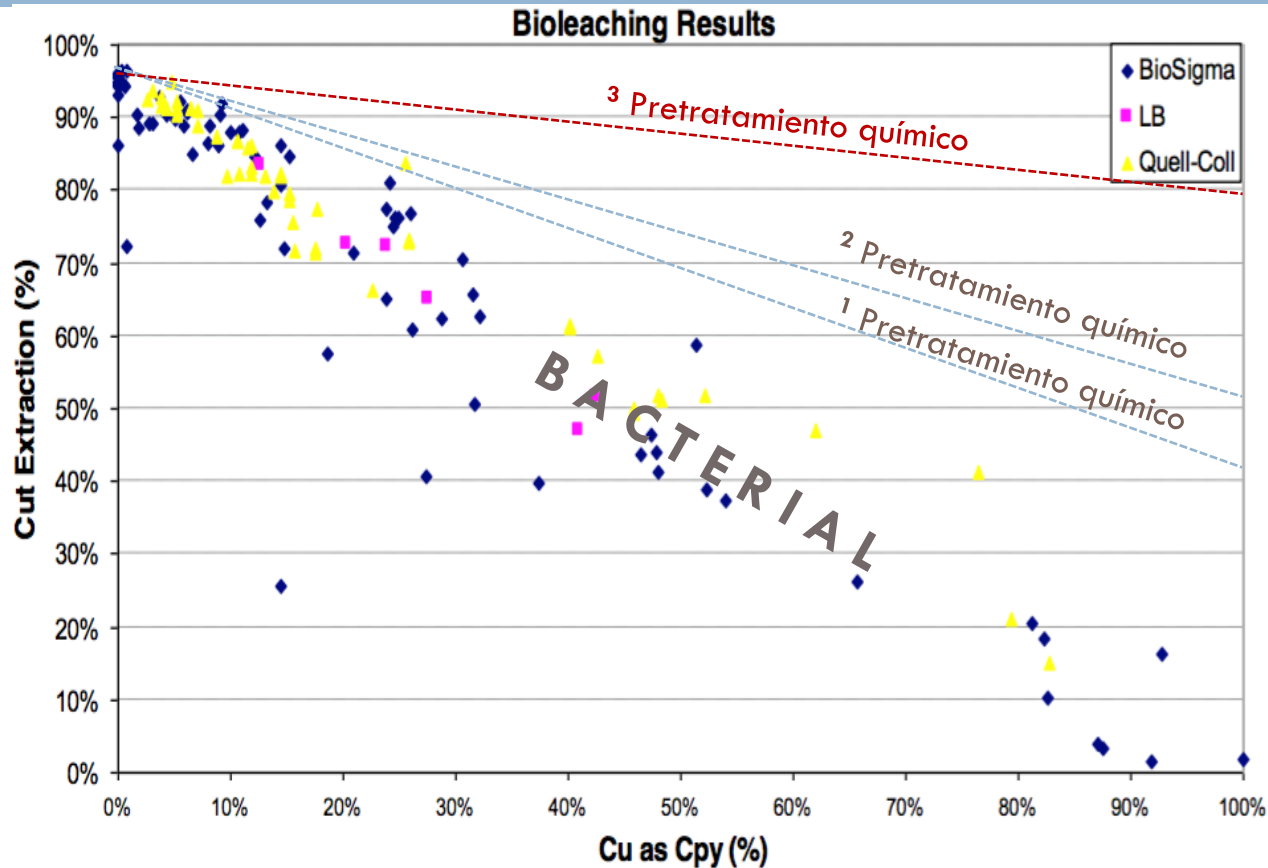
2019 La única vía para lixiviar sulfuros de cobre primarios de baja ley con CAPEX/OPEX competitivo.

2020 Abre la posibilidad de integración entre planta concentradora y planta hidrometalúrgica con un objetivo de negocio sostenible.





# BACTERIAL VS PRETRATAMIENTO QUÍMICO CON $\text{NaCl-H}_2\text{SO}_4$

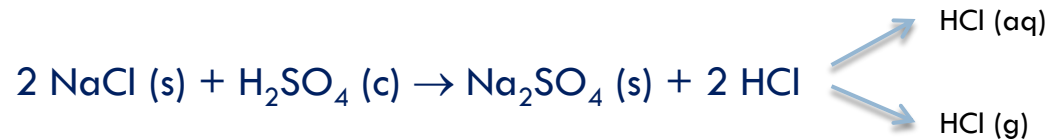


- (1) Pretratamiento químico con refinó
- (2) Pretratamiento químico con ILP o IPLS
- (3) Pretratamiento químico con temperatura

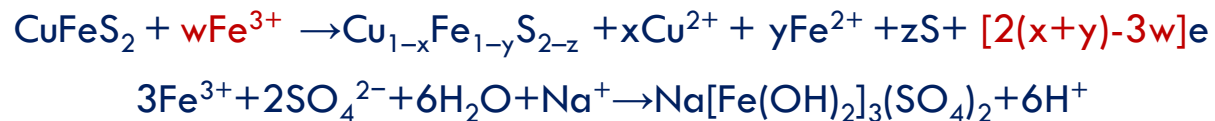
Ref. Reghezza, Análisis de procesos IV (versión MGM), Antofagasta, Chile, 2013.

# Mecanismo propuesto para transformar sulfuros de cobre en polisulfuros

- Mezcla de sólidos: mineral de calcopirita con NaCl. La adición de NaCl (kg/ton de mineral) depende de la dosis de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, de acuerdo con la reacción:



- El mecanismo más probable a la luz de los resultados experimentales es:



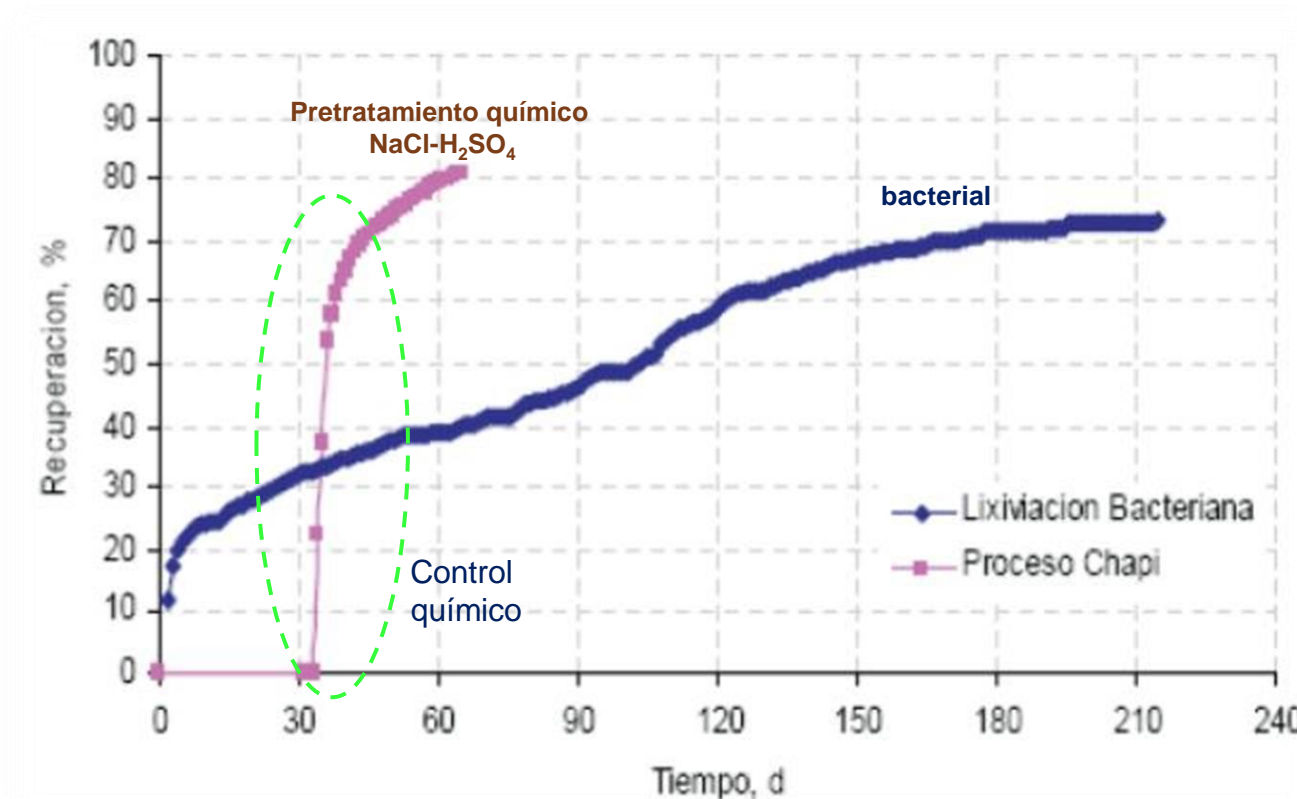
- En la salmuera durante la lixiviación del mineral pretratado podría ocurrir:



**La formación del sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) durante el aglomerado evita la formación de azufre elemental.**

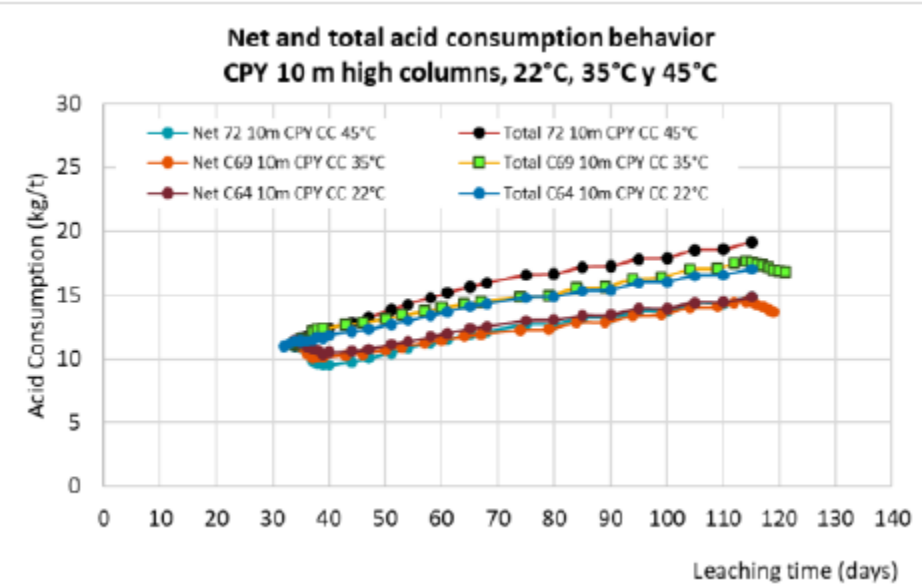
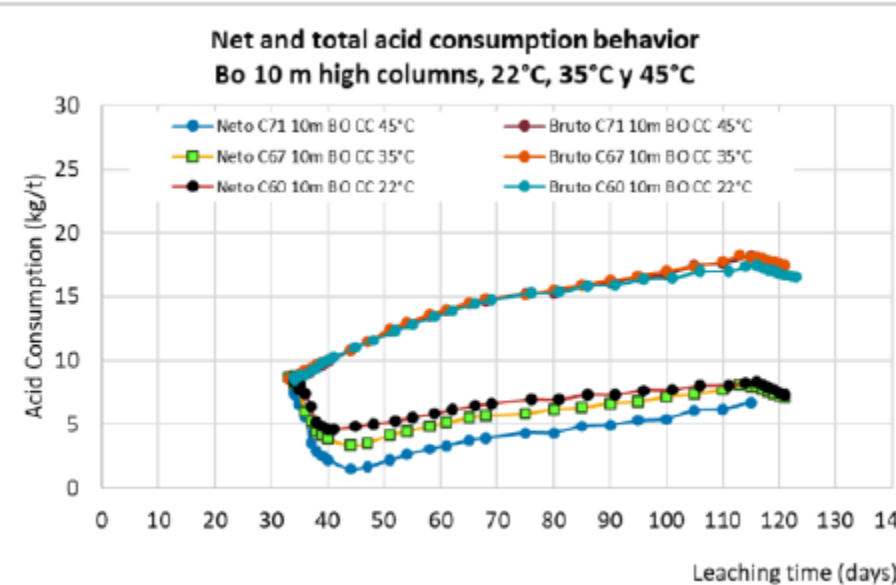
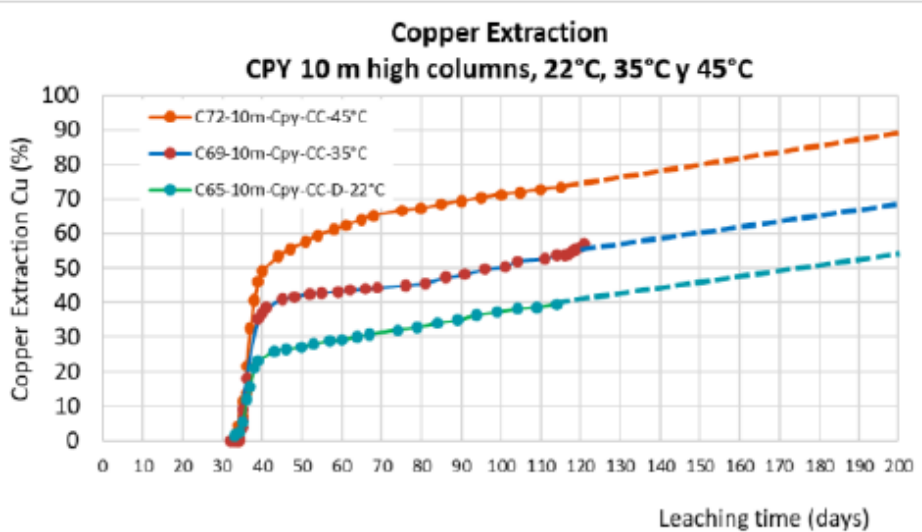
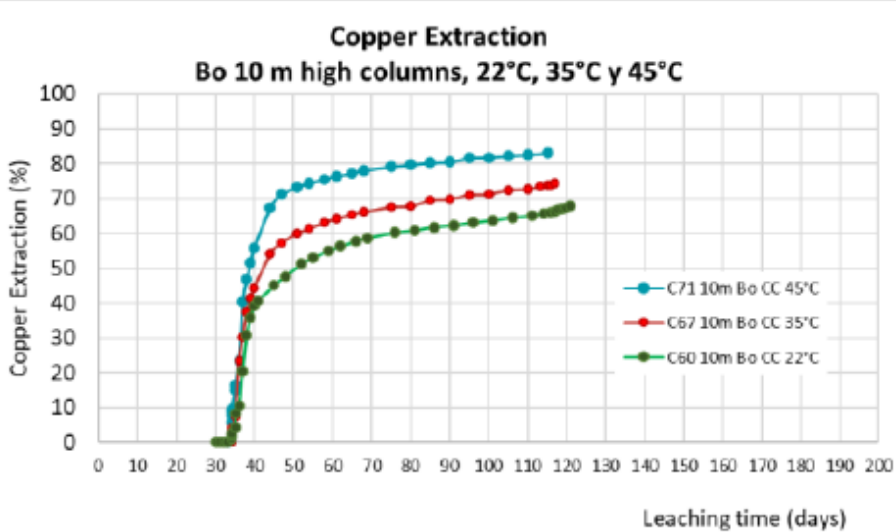
# Cinética con pretratamiento químico versus bacteriana Sulfuros de cobre secundarios (Proceso Chapi-LIX)

## □ Cinética de lixiviación de sulfuros de cobre ( $\text{Cu}_2\text{S}$ y $\text{CuS}$ )



En medio cloruro ( $\text{NaCl}$  o  $\text{CaCl}_2$ )- $\text{H}_2\text{SO}_4$  se puede alcanzar un 90% de extracción de cobre en 90 días.

# Extracción de cobre y consumo de ácido sulfúrico para minerales de bornita (Bo) y Calcopirita (CPY). Ref. Jo et al, 2022.



# PROYECCIÓN DE EXTRACCIÓN DE Cu POR ESPECIE

- Promedios estimados a partir de resultados de pilotajes de los proyectos y operaciones en curso.
- Basados en resultados de lixiviación en columnas de 1, 3, 6 y 10 m de altura.
- 70% del consumo estándar de ácido sulfúrico del mineral usado en el pretratamiento químico.
- Ley de CuT entre 0,3 y 0,6%.

Especie	Extracción (%)			Reposo (d)	Ciclo (d)
	22 °C	35 °C	45 °C		
<b>CuFeS<sub>2</sub></b>	48	68	87	30	200
<b>Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub></b>	68	72	85	30	130
<b>Cu<sub>2</sub>S</b>	85	90	94	15	120
<b>CuS</b>	80	87	90	15	120
<b>Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub></b>	10	25	35	30	250

# CONCLUSIONES

- El pretratamiento químico de minerales sulfurados de cobre con  $\text{NaCl-H}_2\text{SO}_4$ , primarios y secundarios, actualmente es una tecnología que se aplica industrialmente y no es un prototipo.
- Se ha aplicado con éxito y actualmente en operación en Spence (Calama, BHP), Cerro Colorado (Iquique, BHP), Zaldivar (Antofagasta, AMSA), Michilla (AMSA) y en la mediana minería en Amalia Catemu, Minera Tres Valles.
- En diferentes fases de la ingeniería en: Collahuasi, Pelambres, Codelco-DRT, Codelco-DGM, Codelco-El Salvador, Minera Escondida, Biocobre, entre otras.
- La extracción de cobre promedio desde los sulfuros secundarios es de 90% y desde primarios 70%, con reposo de 7 a 30 días dependiendo de la mineralogía metálica y no metálica, y de la temperatura.

# CONCLUSIONES

- El ciclo de lixiviación dura entre 100 y 150 días.
- Para lograr el 70% o más de extracción de cobre desde sulfuros primarios se requiere una temperatura en el lecho de mineral de 30 °C a 45 °C, dependiendo de la temperatura del ambiente (día/noche y estacionalidad).
- En la lixiviación de minerales de óxidos de cobre, se observa un aumento de la extracción de cobre cuando existe la presencia de mineralogías de óxidos complejos (copper wad y copper pitch).
- En general, para todos los óxidos de cobre, la tecnología permite una disminución del consumo neto de ácido sulfúrico que puede alcanzar hasta un 20%.



# **OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup>**

**Tecnología para Aumentar la Extracción, la Productividad y Sustentabilidad en la Lixiviación de Metales.**

**MAYO DEL 2023**

# OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup>

1

- ❑ **OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup>** es una solución tecnológica que aumenta la extracción de metales (superando el 10%), dependiendo de la ley y tipo de ganga.
- ❑ En algunos casos aumenta la cinética química, incrementando sobre 10% la capacidad de tratamiento de mineral, aumentando significativamente la producción de Cu/Au/Ag.
- ❑ Disminuye el consumo de otros reactivos como ácido sulfúrico, cloruro de sodio o cianuro, favoreciendo significativamente un menor OPEX.
- ❑ Favorable en procesos de lixiviación clorurada.



# OXIMETAL PROCESS (T)

2

- **OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup>** es una tecnología comprometida con el medio ambiente, contribuyendo a la sustentabilidad del proceso de lixiviación y la sostenibilidad del negocio minero.
  
- Al disminuir el consumo de NaCl, NaCN u otros, contribuye a una disminución del riesgo:
  - de transporte y almacenamiento.
  
  - para la salud de los operadores (menor probabilidad de emisiones gaseosas peligrosas: HCN, HCl).
  
  - en la relación de la empresa con las comunidades, al mostrar la búsqueda de alternativas de procesos más sustentables con el medio ambiente.

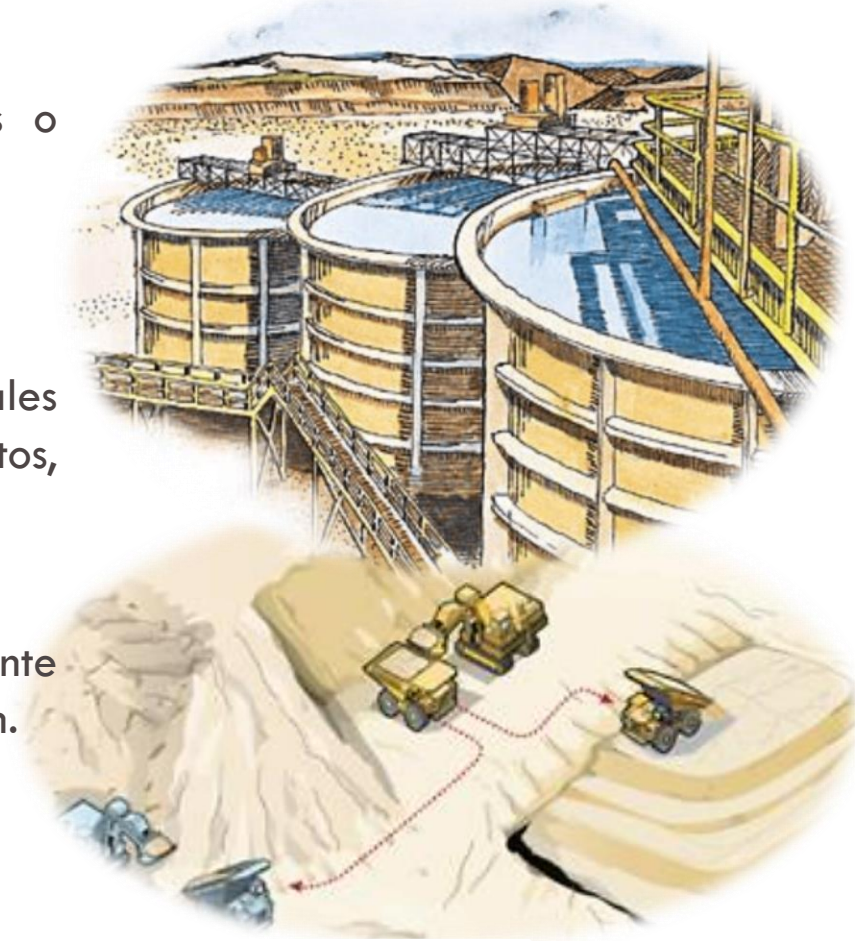




# OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup>

3

- Condiciones de aplicación:
  - ▣ Lixiviación de metales en pilas, botaderos o ROM con  $\text{NaCl-H}_2\text{SO}_4$ .
  - ▣ Lixiviación de concentrados.
  - ▣ Lixiviación cianurada en reactor agitado.
  - ▣ Aplicable a mineralogías complejas con metales encapsulados en piritita, arsenopiritita, carbonatos, entre otros.
  
- La solución tecnológica se licencia al cliente (Patente en trámite): Análisis proceso + equipos de adición.
  
- Ciclo de Implementación:



PRUEBAS LAB /  
PILOTO  
INDUSTRIAL

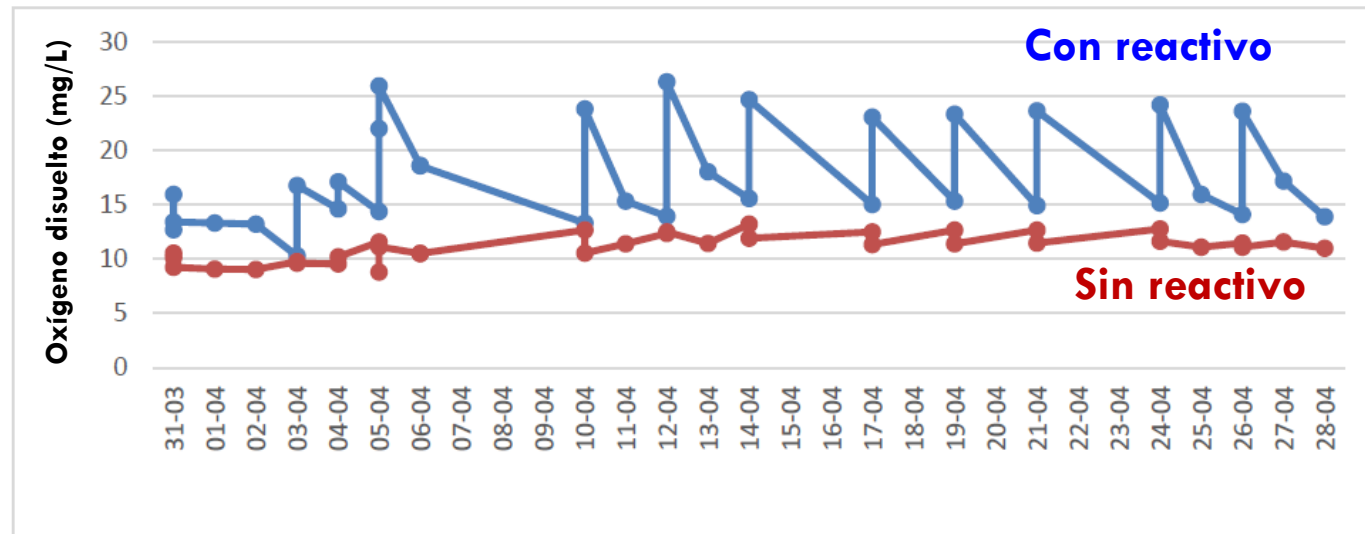
LICENCIA O  
CONTRATO  
SERVICIO

FABRICACIÓN &  
MONTAJE  
EQUIPO DOSIF.

P. EN MARCHA &  
OPERACIÓN

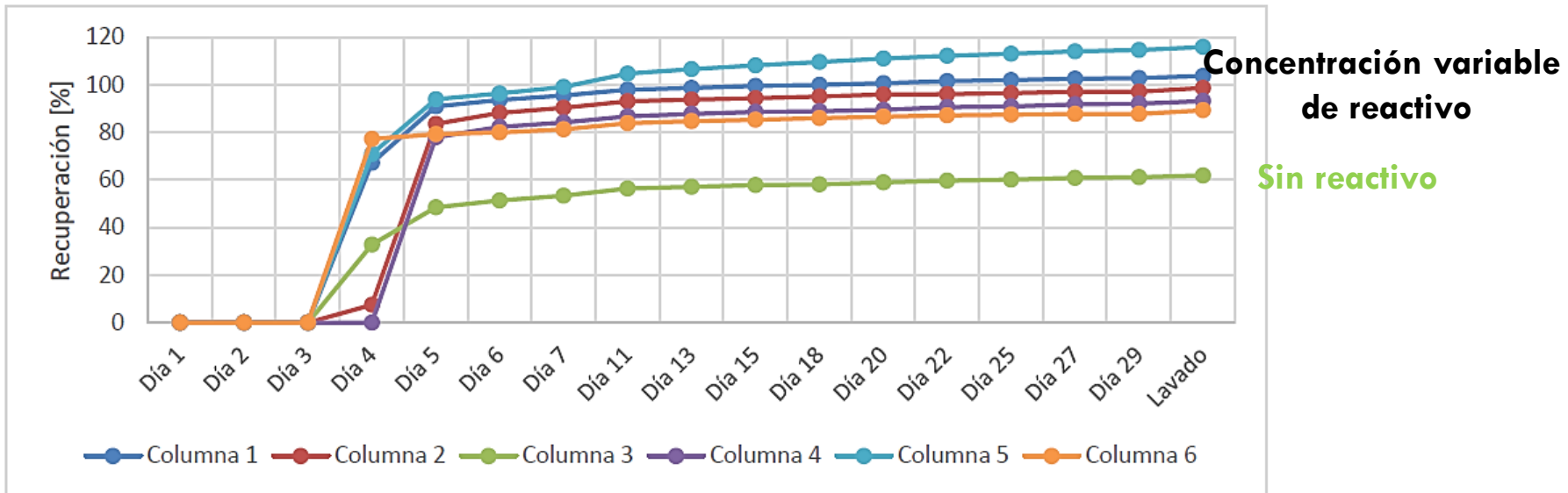
# Alternativa de aireación en pilas de lixiviación

- Disponer de un apropiado sistema de aireación en la pila de lixiviación permite asegurar la concentración de oxígeno en el lecho, lo que conlleva a la presencia de un ambiente oxidante tal que inhibe la pérdida de material valioso a causa de la resistencia a la disolución ácida inherente en los minerales sulfurados de cobre y de oro.
- Esto favorece la cinética de disolución durante los primeros meses de recuperación, permitiendo obtener recuperaciones de cobre superiores, garantizando el desempeño técnico-operacional del proceso y, por tanto, generando producto de mejor calidad en las etapas subsiguientes de la planta.



# Sistemas de aireación en pilas de lixiviación

- Es necesario suministrar a la pila una adecuada aireación, ya que la lixiviación de sulfuros requiere la presencia de agentes oxidantes, tales como el oxígeno.
- Esto se logra por medio de tuberías plásticas perforadas, colocadas aproximadamente 1 m sobre la base de la pila e introduciendo aire por medio de aireadores a baja presión (blower). Todo esto se elimina usando **OXIMETAL®**
- Para pilas de gran tamaño, no es posible utilizar sopladores, por lo que se espera que el aire movido por la convección natural proporcione el oxígeno necesario (Davenport, Schlesinger, King, & Sole, 2011). Esto se supera con **OXIMETAL®**



# OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup> EN LA LIXIVIACIÓN DE COBRE

8

- **OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup>** se adiciona en forma controlada en el TK aglomerador y la solución de riego de la pila, botadero o ROM a lixiviar.
- El lixiviante repotenciado por el reactivo percola a través del lecho no saturado de mineral, promoviendo su rápida disolución.
- El nuevo reactivo no afecta las operaciones siguientes de SX y EW para producir los cátodos de cobre.

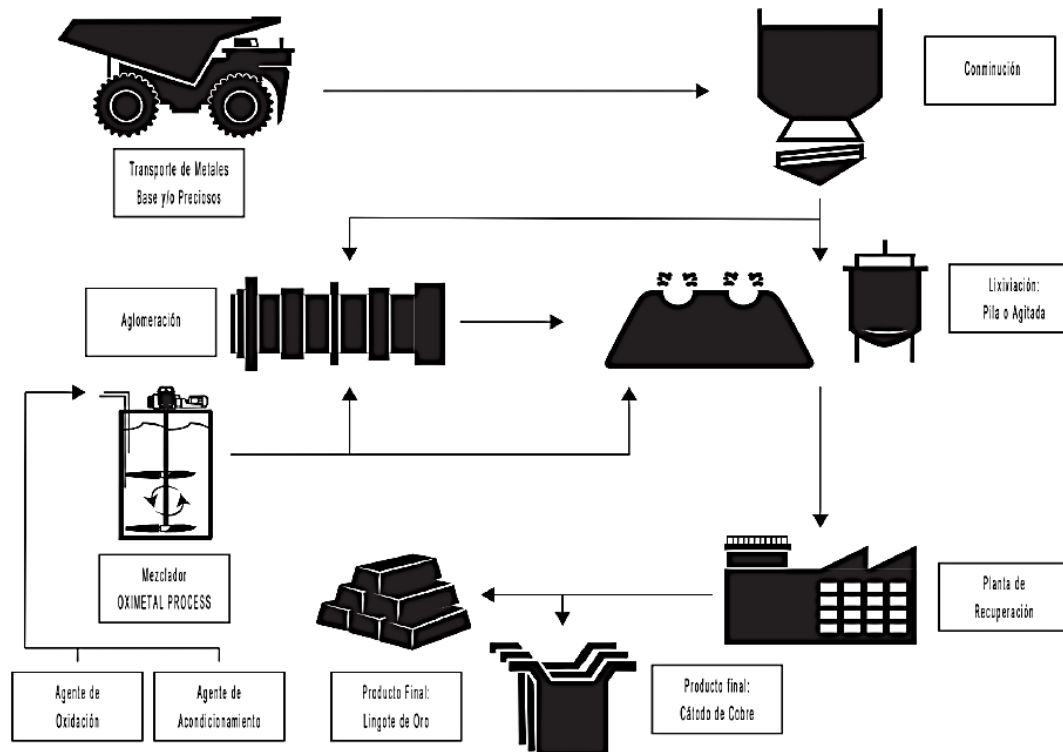


FIG 1



# OXIMETAL PROCESS (T)

## PILOTAJE INDUSTRIAL PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

8





# **OXIMETAL PROCESS<sup>(T)</sup>**

**Tecnología para Aumentar la Extracción, la Productividad y Sustentabilidad en la Lixiviación de Metales.**

**MAYO DEL 2023**