

1 . Objetivos y Antecedentes del Estudio

1 . Objetivos y Antecedentes del Estudio

El presente estudio se realizó en un período de 39 meses entre octubre de 1999 y diciembre de 2002, por Dowa Engineering Co., Ltd. y Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd. de acuerdo al convenio de cooperación suscrito de acuerdo a los Alcances de Trabajo (*Scope of Works*) correspondiente al estudio “Operación Compatible con el Medio Ambiente de Plantas de Procesamiento de Minerales mediante Biotecnología en la República de Chile”, suscrito el 4 de junio de 1999 entre la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) de la República de Chile y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

En el sector de la producción del cobre de la República de Chile, que produce al año aproximadamente 4,600,000 toneladas de cobre, siendo el primer productor a nivel mundial, la contaminación ambiental ocasionada por los efluentes del proceso se ha convertido en un tema de interés bajo los aspectos económico, social y político. El objetivo del presente estudio consiste en introducir y difundir en Chile, métodos de operación compatibles con el medio ambiente, aplicando técnicas de tratamiento de efluentes practicadas en Japón mediante el uso de bacterias. De acuerdo a este precepto, se instaló una planta modelo de tratamiento de efluentes de 100m³/día de capacidad en la planta Ovalle administrada por ENAMI, anexa al proceso de lixiviación de minerales de cobre, con la finalidad de realizar pruebas de tratamiento de efluentes que se generan en éste; y con ello, la realización de transferencia de tecnología correspondiente. Los detalles del contexto de estas pruebas y sus resultados se presentan en el capítulo 4 del presente informe.

La inversión en materia relacionada a la prevención de contaminación requiere de la estabilidad de las operaciones del proceso existente y del mejoramiento de su eficiencia. En la actual planta Ovalle coexisten por un lado, problemas de índole funcional, así como los relacionados con responsabilidad social, siendo éste concepto parte integrante de las políticas internas de ENAMI; y por otro, de índole técnico-medioambiental inherentes a sus operaciones. Con la finalidad de reconocer esta situación, en el capítulo 2 se presenta de modo sucinto la situación de la minería del cobre en Chile y las funciones de ENAMI; y en el capítulo 3 se detallan los resultados y las propuestas de mejoramiento como producto del diagnóstico operacional y medioambiental de los procesos en la planta Ovalle. Queda implícito que la principal propuesta del presente estudio está relacionada con aspectos medioambientales.

El objeto de la planta modelo citada consistió en verificar la aplicabilidad de la tecnología, sin embargo, no cuenta con la capacidad para tratar la totalidad del efluente generado. Razón por la cual, se propone un diseño y planeamiento de operaciones futuras tratando la totalidad de los efluentes a ser generados, ajustándose a la capacidad máxima del procesamiento de minerales por lixiviación consistente en 14,000 toneladas mensuales.

En el presente informe refiérase a esta planta como planta a escala cuya descripción se detalla en el capítulo 5.

En el capítulo 6 se presentan los análisis económico y financiero para la factibilidad de esta planta a escala considerando aspectos generales de la planta Ovalle. Debido a que los propósitos

del presente proyecto están relacionados con medidas de prevención de la contaminación, esta ampliación de la planta de tratamiento de efluentes no mejora la posición financiera *per se*. En consecuencia, este capítulo presenta un ejercicio de cuantificación de externalidades generadas con el mejoramiento ambiental. Es decir, se adiciona un análisis económico considerando beneficios sociales para la zona de influencia.

La construcción de la planta a escala irroga una gran inversión difícil de realizar en las actuales condiciones del sector productor de cobre que concierne a ENAMI. En consecuencia, a pesar que la propuesta del presente estudio recomienda construir una planta de tratamiento de efluentes a escala, se analizó el *modus operandi* compatible con el medio ambiente en las actuales condiciones de operación. Ello se describe en el capítulo 7.

Con el presente estudio se pudo constatar la aplicabilidad de la tecnología bacteriana para el tratamiento de efluentes del presente caso particular. Por ende es viable la difusión de ésta para operaciones similares. Este tema se trata en el capítulo 8, sin embargo, las operaciones a las cuales es posible aplicar los resultados obtenidos en la planta Ovalle -sin modificaciones- son prácticamente inexistentes en el país. Por tanto, es poco probable que se aplique la tecnología a otras operaciones de ENAMI, bajo la coyuntura actual en la cual existe tendencia a disminuir la producción de precipitados de cobre a partir del proceso de lixiviación, así como se ha observado en los últimos años. Debido a esta situación, se presenta adicionalmente un análisis de aplicabilidad de la tecnología bacteriana de un modo más amplio para el sector minero en general. La ejecución de estas propuestas es factible debido a la objetividad y experiencia que posee la contraparte chilena.

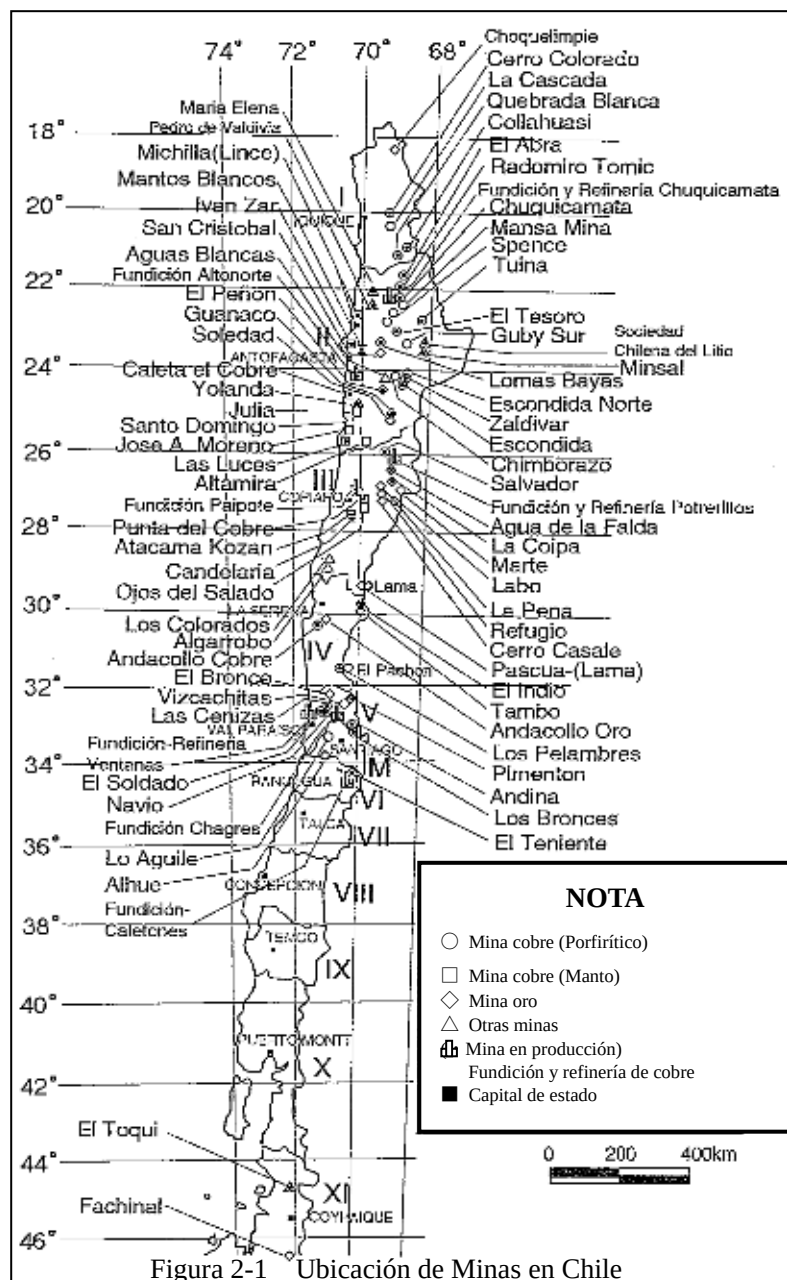
En el capítulo 9 se compilan las propuestas considerando los resultados del presente estudio, esperando ver plasmado el mejoramiento ambiental y la rentabilidad de la planta Ovalle con su aplicación.

2. Situación de la Minería en Chile

2. Situación de la Minería en Chile

2.1 Sinopsis de la Minería Chilena

Como se muestra en la Figura 2-1, Chile es un país minero que concentra sus actividades extractivas en las regiones II y III. Sus principales productos consisten en oro, plata, cobre y molibdeno, siendo las exportaciones del sector (US\$8,340 millones en el año 2000) el 47% del total (US\$17,700 millones en el año 2000). Especialmente, la participación del cobre asciende al 41.5% siendo su valor de US\$7,340 millones (año 2000), y desde el año 1982, durante el cual superó la producción norteamericana, ha incrementado su producción año tras año, llegando alcanzar la producción de 4.6 millones de toneladas en el año 2000, siendo el mayor productor contribuyendo el 35% de la producción mundial (1,323 millones de toneladas). (Ver Figura 2-2)



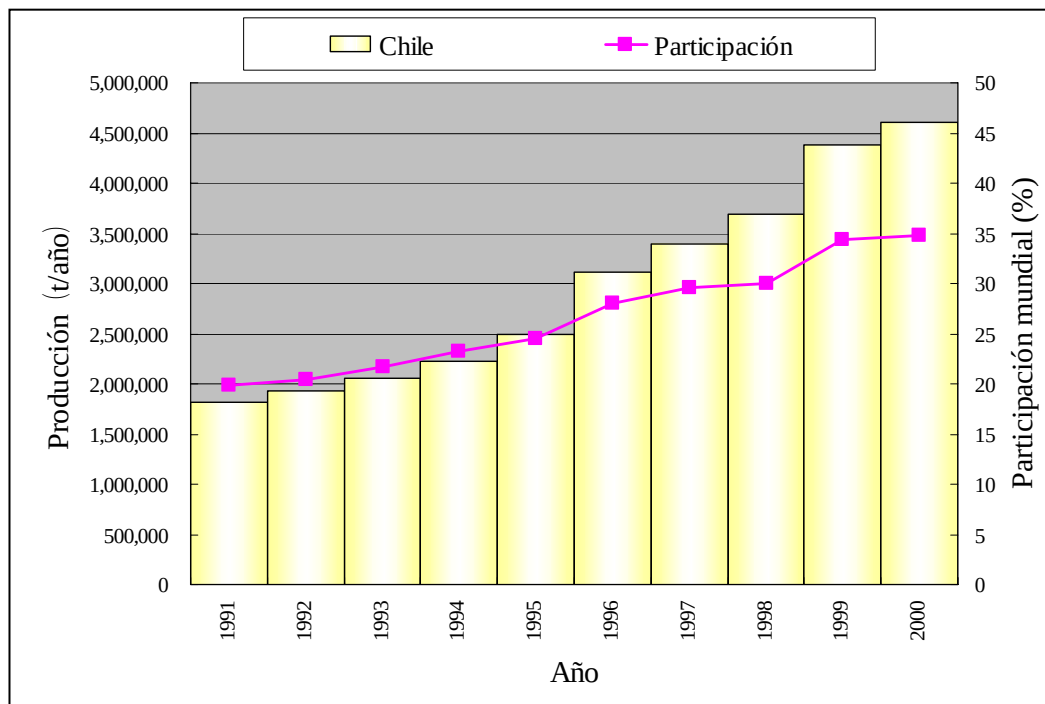


Figura 2-2 Evolución de Producción de Cobre

Además, como se muestra en la Figura 2-3, el 60% de la producción del cobre chileno en 1990 correspondía a cobre electrolítico, sin embargo, actualmente el 40% se oferta en forma de concentrados de cobre y el resto en forma de cobre electrolítico, del cual el 30% es obtenido mediante el proceso SX-EW y el otro 30% a partir de ánodos de cobre.

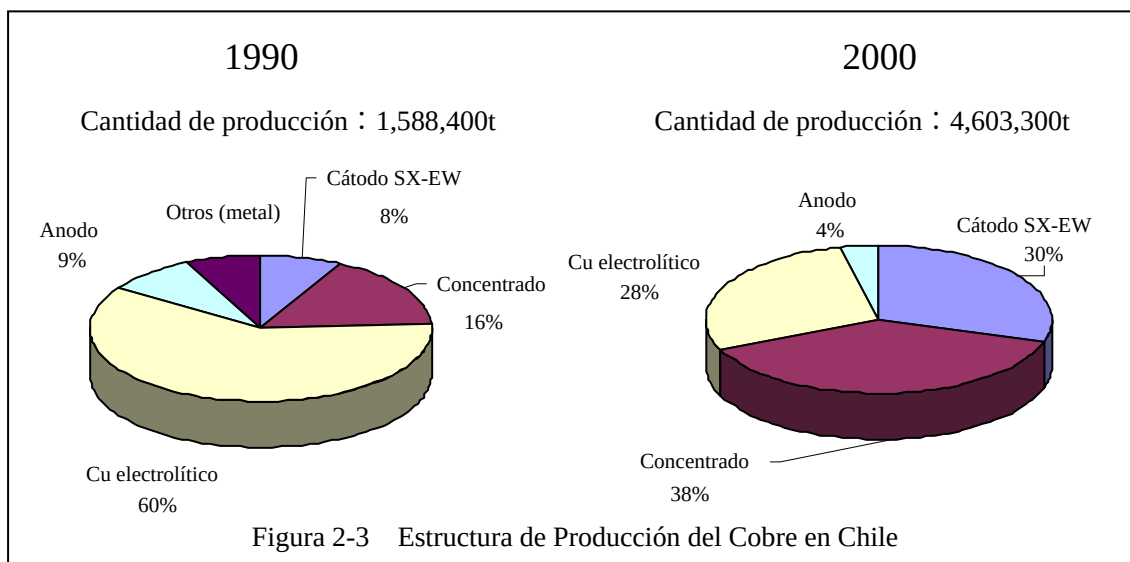
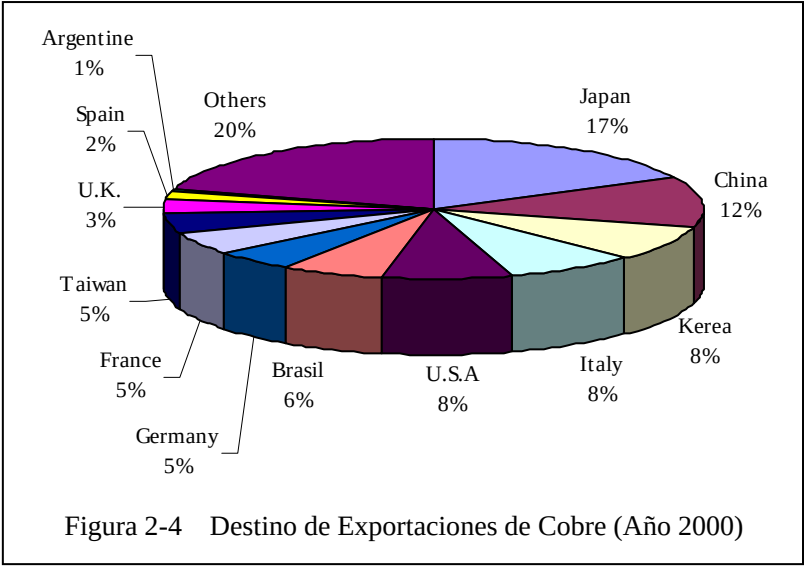


Figura 2-3 Estructura de Producción del Cobre en Chile

Además, el destino de las exportaciones de cobre tiene a Japón en primer lugar con el 17.4%, seguido de China y Corea. Incluyendo a Taiwán se tiene que el 42.5% corresponde al Sudeste

asiático.



2.2 Organismos y Legislación Medioambiental en Chile

La cronología de la legislación medioambiental en Chile tiene su origen en el año 1916 con la promulgación de la Ley 3.133 “Neutralización de Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales” y aunado a la tendencia internacional ha avanzado recientemente con el establecimiento de nuevas normas, como el establecimiento de estándares para materiales sulfurosos y particulados en 1991, reglamentos relacionados a contaminación de aguas y la promulgación de la Ley 19.300 “Ley de Bases Generales del Medio Ambiente” en 1994.

1916	• Ley de Neutralización de Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales
1970	• Reglamento de Construcción y Operación de Tranques de Relaves
1991	• Reglamento del Funcionamiento de Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso, Material Particulado y Arsénico en todo el Territorio de la República
1992	• Reglamento para la Neutralización y Depuración de los Residuos Líquidos Industriales (A que se refiere la Ley de Neutralización de Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales de 1916)
1994	• Ley de Bases Generales del Medio Ambiente
1995	• Reglamento del Consejo Consultivo de la Comisión Nacional y de las Comisiones Regionales del Medio Ambiente • Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión • Reglamento que Fija el Procedimiento y Etapas para Establecer Planes de Prevención y Descontaminación
1997	• Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
1998	• Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado • Norma de Emisión para la Regulación del Contaminante Arsénico Emitido al Aire
2000	• Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados y las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales

Por otro lado, se encuentra en proceso de promulgación, legislación pertinente a “Normas de Emisión Subterránea”, “Normas de Emisión a Aguas Marítimas”, “Normas de Emisión para la Protección de Aguas Freáticas” y “Normas de Cierre de Minas”.

La Ley de Bases Generales del Medio Ambiente que es el pilar de la legislación medioambiental chilena establece los siguientes aspectos.

- ◆ Educación e investigación como instrumentos de gestión ambiental
- ◆ Sistema de evaluación de impacto ambiental
- ◆ Participación de la comunidad en el procedimiento de evaluación de impacto ambiental
- ◆ Normas de calidad ambiental, preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental

- ◆ Normas de emisión
- ◆ Planes de manejo, prevención o descontaminación
- ◆ Responsabilidad por daño ambiental
- ◆ Comisión Nacional de Medio Ambiente

El principal organismo de gestión del medio ambiente en Chile es la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) citada en la anterior legislación, siendo sus principales funciones las siguientes.

- ◆ Proponer al Presidente de la República las políticas ambientales del gobierno.
- ◆ Informar periódicamente al Presidente de la República sobre el cumplimiento y aplicación de la legislación vigente en materia ambiental.
- ◆ Actuar como órgano de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias relacionadas con el medio ambiente.
- ◆ Administrar el sistema de evaluación de impacto ambiental a nivel nacional, coordinar el proceso de generación de las normas de calidad ambiental y determinar los programas de su cumplimiento.
- ◆ Colaborar con las autoridades competentes en la preparación, aprobación y desarrollo de programas de educación y difusión ambiental.

Los proyectos nuevos en Chile deberán presentar un estudio de acuerdo al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA, organismo dependiente de CONAMA o a ésta en caso el proyecto sea de ámbito multi-regional) de la jurisdicción para su aprobación, previo al inicio de las actividades.

El presente proyecto también ha sido materia del SEIA y debió presentar su estudio de impacto ambiental ante COREMA de La Serena, de la cual obtuvo su aprobación.

En la Figura 2-5 se muestra el organigrama de CONAMA y su relación con otras instituciones.

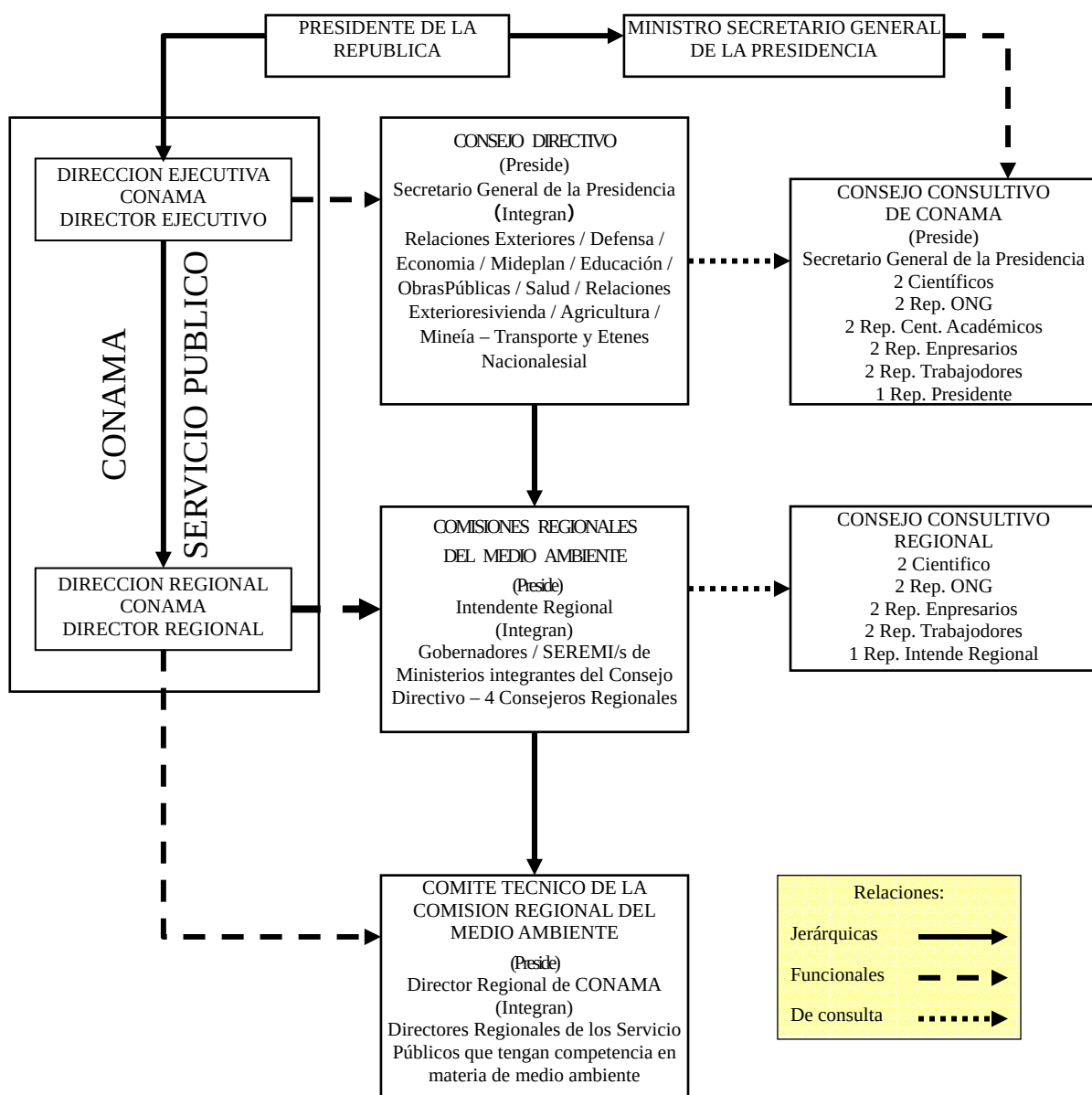


Figura 2-5 Organigrama de CONAMA y Su Relación con Otras Instituciones

2.3 Sinopsis de ENAMI

ENAMI (Empresa Nacional de Minería) es una empresa estatal chilena creada en 1960 mediante la fusión del entonces Caja de Crédito y Fomento Minero y Empresa Nacional de Fundiciones.

A diferencia de su similar CODELCO (Corporación Nacional de Cobre de Chile) que opera directamente minas de cobre como Chuquicamata y El Teniente de renombre mundial, ENAMI no realiza explotación de minas, sino, cumple funciones de fomento para la pequeña y mediana minería. Es decir, realiza simultáneamente sustentación en la adquisición de productos de cobre en función a las condiciones del mercado, servicios de procesamiento de minerales crudos, concentrados y precipitados de cobre dándole valor agregado obteniéndose productos comerciables y de colocación de éstos en el mercado que no sería posible lograr en forma independiente. Asimismo, la ejecución de programas de fomento y capacitación relacionada a estos procesos. En forma específica se clasifican como se describe a continuación:

(1) Crédito para el desarrollo minero

Debido a la gran volatilidad de las cotizaciones del cobre en el mercado, la inversión en la actividad minera es una actividad de alto riesgo financiero. Razón por la cual, ENAMI otorga créditos a largo plazo para inversión y capital de trabajo, compartimiento del riesgo, y otros beneficios para el desarrollo de la actividad para la pequeña y mediana minería.

(2) Servicio de adquisición y procesamiento de minerales

Adquiere minerales crudos provenientes de la pequeña y mediana minería para procesarlos en sus plantas obteniéndose concentrados y precipitados de cobre que son enviados a sus fundiciones para su posterior procesamiento. El precio de adquisición del mineral es en función a la cotización del cobre vigente más una sustentación. Es decir, adquiere minerales valorizando en 75¢/lb el cobre cuando su cotización en el mercado es menor a este valor, y exige la devolución de la diferencia cuando su cotización supera el mismo. La capacidad de procesamiento de sus plantas se muestra en el Cuadro 2-1.

Cuadro 2-1 Capacidad de Procesamiento de las Plantas de ENAMI

Planta	Ubicación	Capacidad de Procesamiento (t/mes)			Producto
		Oxido	Sulfuro	Total	
Taltal	II Región	12,000	15,000	27,000	Ppdo./Conc.
Matta	III Región	—	110,000	110,000	Concentrado
Vallenar	III Región	12,000	20,000	32,000	Ppdo./Conc.
El Salado	III Región	18,000	—	18,000	Precipitado
Ovalle	IV Región	14,000	11,000	25,000	Ppdo./Conc.
Total		56,000	156,000	212,000	

Producen precipitados de cobre a partir de minerales óxidos mediante lixiviación e intercambio iónico hierro-cobre, y concentrados de cobre a partir de minerales sulfurados

mediante flotación; los cuales son enviados a las fundiciones de ENAMI. Asimismo, adquiere minerales de oro que son concentrados mediante flotación para ser refinados posteriormente.

Últimamente se practica extensamente el método de extracción con solventes y electrodeposición ó SX-EW en reemplazo de la lixiviación e intercambio iónico hierro-cobre para procesar minerales óxidos de cobre. Incluso en una de las plantas de ENAMI, El Salado, se está analizando el cambio hacia este método de procesamiento.

Como se mencionó, ENAMI no cuenta con minas propias en explotación, razón por la cual, depende del abastecimiento de minerales crudos provenientes de la pequeña y mediana minería en cada zona de influencia. Esta situación origina alta fluctuación en la tasa de operaciones debida a la inestabilidad del abastecimiento, con la consecuente dificultad de mantener una eficiente utilización de la capacidad instalada en cada una de sus plantas. Los detalles relacionados a la tasa de operación en la planta Ovalle se tratan en el capítulo 3. Asimismo, el requerimiento de analizar la calidad y reconocer la cantidad de los minerales crudos por lotes, según su procedencia, dificulta la práctica del mezclado para uniformizar la carga de alimentación al proceso.

(3) Servicio de fundición y refinación de concentrados y precipitados de cobre

ENAMI cuenta con la refinería Ventanas y fundición Paipote para la fundición y refinación de concentrados y precipitados de cobre producidos en sus plantas y adquiridos de pequeños y medianos productores externos, para procesarlos en forma conjunta. El proceso de la refinería Ventanas consistente de fundición y refinación electrolítica, produciendo principalmente cobre electrolítico, además oro y plata electrolíticos, selenio y ácido sulfúrico entre otros subproductos. Por su lado la fundición de Paipote que no cuenta con planta de electrólisis, produce ánodos de cobre que son enviados a la refinería de Ventanas para su refinación. Del mismo modo que las plantas, las fundiciones también adquieren concentrados y precipitados de terceros con precios sustentados, razón por la cual, requiere con urgencia reducir sus costos operativos acorde a las actuales cotizaciones del metal, no obstante, recientemente al asumir los costos de prevención de contaminación se ha visto incrementado sus costos.

Cuadro 2-2 Resultados de Operaciones en las Fundiciones y Refinería de ENAMI (año 2000)

	Ventanas	Paipote
Cu electrolítico	319,105 t	—
Anodo de Cu	—	77,639 t
Au electrolítico	5,937 kg	—
Ag electrolítico	105,401 kg	—
Acido sulfúrico	328,542 t	245,707 t

(4) Desarrollo tecnológico y otros

ENAMI ejecuta proyectos de desarrollo e investigación para el mejoramiento de procesos, aplicación de nueva tecnología, prevención de contaminación, etc. en forma independiente y en

coordinación con terceros. Recientemente ha realizado la introducción de convertidores Teniente en sus fundiciones, mejoramiento en la captación de gases sulfurosos de los humos, así como la introducción del método SX-EW en reemplazo del proceso de producción de precipitados de cobre.

Comparando la actividad de ENAMI con su similar CODELCO que produce 1.5 millones de toneladas de cobre anualmente -contribuyendo al 34% de la producción nacional-, se tiene que sus fundiciones y refinería producen anualmente en total 320 mil toneladas, representando apenas una quinta parte. Sin embargo, su importancia debida a sus funciones de índole social manteniendo activa a la pequeña y mediana minería, asimismo contribuyendo a la generación de empleo es considerable.

En la Figura 2-6 se muestra los organigramas de los principales organismos relacionados con el Ministerio de Minería, en la Figura 2-7 la organización de ENAMI con sus principales dependencias.

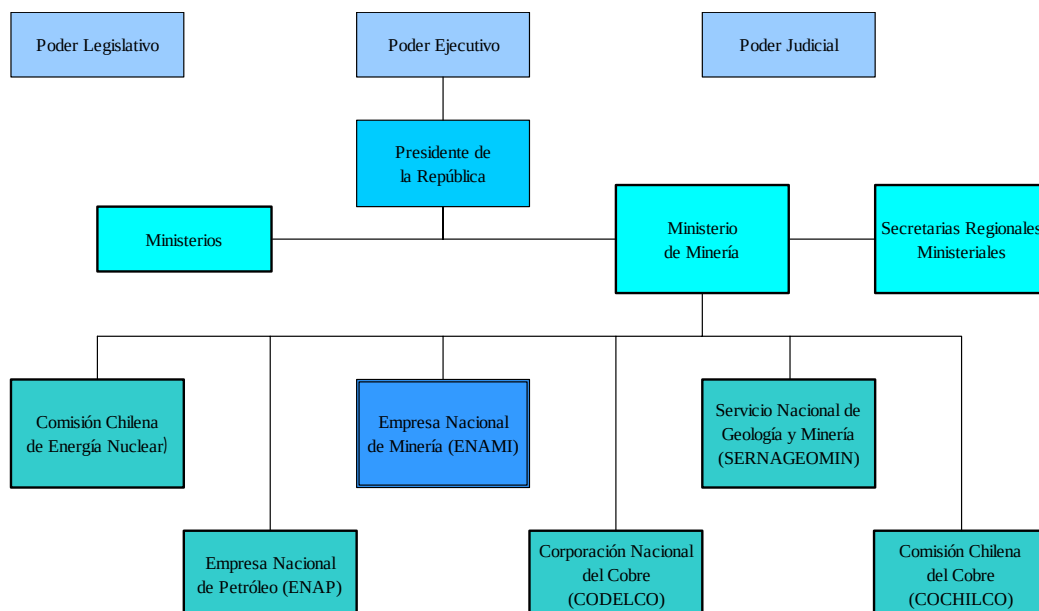


Figura 2-6 Organigrama del Ministerio de Minería

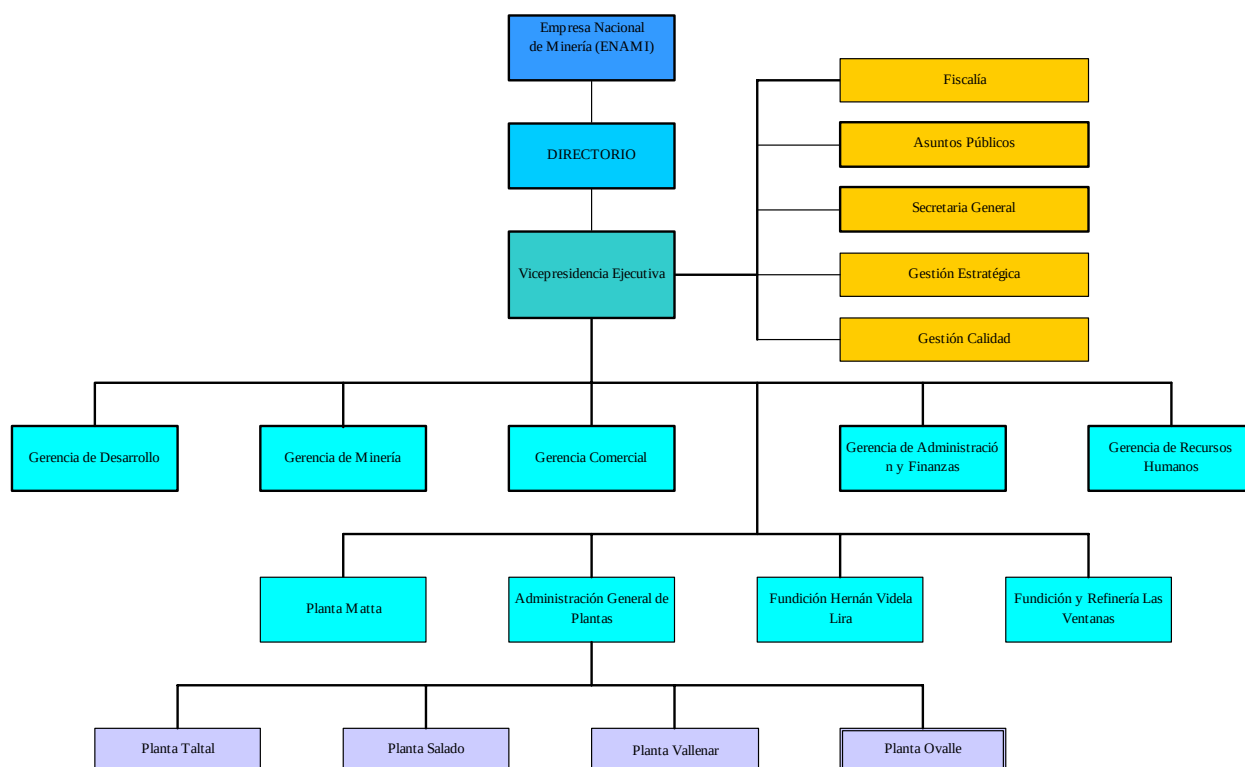


Figura 2-7 Organigrama de ENAMI

Fuentes: *Annual Report* ENAMI, 2000. Compendio de la Minera Chilena, 2000

3 . Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle

3. Diagnóstico Operacional y Ambiental de la Planta Ovalle

3.1 Descripción de la Planta Ovalle

3.1.1 Geografía

(1) Ubicación y modo de acceso

Se ubica aproximadamente a 8km (30°30' latitud sur, 71°06' longitud oeste) hacia el norte de la ciudad de Ovalle perteneciente a la comuna de Limarí localizado 70km al sur de la ciudad de La Serena (475km al norte de Santiago, aproximadamente 50 minutos en avión), capital de la IV Región. Se encuentra adyacente a la carretera 43 que une las ciudades de La Serena y Ovalle tomando 1.5 horas en automóvil desde La Serena. La altitud en el nivel de la planta es de 444m.

(2) Topografía

La región se denomina Cerro Negro situándose entre la región cordillerana al margen del litoral. La planta se ubica sobre terreno acondicionado hacia el flanco occidental del cerro sobre el estero.

(3) Hidrología

Al pie de la planta drena el estero El Ingenio, tributario del río Limarí, que drena en dirección noreste-sudoeste con un caudal entre 1 y 8m³/min. La cuenca del estero abarca una superficie de 241km² cuya naciente se ubica a 6km aguas arriba de la planta, confluyendo hacia el río Limarí aproximadamente 12km aguas abajo de la misma. Asimismo, el canal de Talhuén recorre las inmediaciones de la planta transportando aguas provenientes del embalse La Recoleta. Por otro lado, ligeramente aguas arriba de la planta hacia el margen izquierdo del estero El Ingenio existe un manantial que emana agua potable.

(4) Meteorología

Durante estiaje (entre los meses de octubre y marzo) amanece con densa neblina que va disipándose al transcurrir el día, con escasas precipitaciones durante toda la época. En cambio, durante la época de lluvias (entre los meses de abril y septiembre) presenta densa nubosidad que genera chubascos de corta duración. La precipitación máxima registrada en mayo de 1957 ha sido de 110mm en 24 horas, acaeciéndose un fenómeno de inundación debida a una gran precipitación en el año 1997. La precipitación anual oscila entre 1 a 340mm, siendo el promedio a partir de 1993 de 10mm anual, exceptuando los registros del año 1997.

3.1.2 Reseña Histórica

- 1959: Constitución de la Compañía Minera de Panulcillo S.A. Inicio de producción de precipitados de cobre procesando minerales óxidos de cobre provenientes de sus minas mediante lixiviación por percolación e intercambio iónico hierro-cobre.
- 1967: Introducción del sistema de maquila adquiriendo minerales crudos de terceros debido al agotamiento de sus reservas.
- 1971: Adquisición por ENAMI y COMINA (Compañía Minera Nacional). Construcción

de planta de flotación para producir concentrados de cobre a partir de minerales sulfurados (150t/día).

- 1975: Incremento de capacidad instalada de la planta de flotación a 300t/día.
- 1979: Adquisición por la Sociedad y Cooperativa Minera de Ovalle.
- 1981: Suspensión de operaciones debida a problemas administrativos.
- 1982: Adquisición por ENAMI y COMINA. Establecimiento de sistema de maquila con ENAMI.
- 1987: Inicio de producción de precipitados de cobre instalando el sistema de lixiviación por pilas e intercambio iónico hierro-cobre con capacidad de procesamiento de 13,000t/mes.
- 1995: Renovación de infraestructura, mejoramiento del proceso, administración basada en protección ambiental. Construcción de circuitos de aglomeración, precipitación y tranque de relaves. Introducción de pila dinámica en reemplazo de lixiviación en tanque y percolación. Incremento de capacidad en los circuitos de aglomeración (100t/hora) y precipitación (240t/hora). Renovación del sistema de disposición de relaves.
- 1999: Inicio de operaciones como planta de ENAMI (Empresa Nacional de Minería, Planta Ovalle).(Arrendamiento de las instalaciones de la Compañía Minera de Panulcillo S.A. filial de ENAMI).

3.1.3 Producción

(1) Situación del proceso productivo

Actualmente procesa minerales óxidos y sulfurados de cobre. Desde el año 1998 en que la cotización del cobre cayó por debajo de 80¢/lb, se ha tornado difícil el abastecimiento del mineral, con la consecuente disminución en la tasa de operación afectando negativamente a la producción; no obstante, a pesar de las bajas cotizaciones, con la introducción de incentivos adicionales en la adquisición de minerales por parte de ENAMI a partir del año 2001, se ha visto mejoradas las operaciones y la producción. En el Cuadro 3-1 se muestra la situación de producción.

Cuadro 3-1 Situación de la Producción en la Planta Ovalle de ENAMI

Item	Minerales Oxidos de Cobre	Minerales Sulfurados de Cobre
Minerales procesados	Crisocola: $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, Malaquita: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	Calcopirita: CuFeS_2 , Bornita: Cu_5FeS_4 , Covelina/Covelita: CuS , Calcocita: Cu_2S
Método de procesamiento	Proceso de cementación: Chancado → aglomeración → lixiviación → intercambio iónico hierro-cobre → precipitado de cobre (recuperación solamente de cobre)	Proceso de flotación: Chancado → molienda → flotación → concentrado de cobre Recuperación de cobre, oro y plata (no se recupera molibdeno ya que el mineral no lo contiene)

Item	Minerales Oxidos de Cobre	Minerales Sulfurados de Cobre
Capacidad de procesamiento	168,000t/año	84,000t/año (hasta segundo trimestre de 2002) 132,000t/año (a partir del incremento en segundo trimestre de 2002)
Abastecimiento de mineral crudo	Abastecimiento de pequeña y mediana minería de la circunscripción bajo el sistema de fomento de ENAMI sin explotar minas propias: Distancia de transporte de minerales: 3-120km (moda: 30km, promedio: 20-50km)	
Procesamiento (resultado 2000)	Mineral crudo: 42,365t/año (ley Cu 2.3%) Tasa de operación: 25.2%	Mineral crudo: 47,418t/año (leyes Cu 1.7%, Au 0.3g/t, Ag 3.5g/t) Tasa de operación: 56.4%
Producción (resultado 2000)	Precipitado de cobre: 894t/año (ley Cu 82.9%) (Recuperación: Cu 77.3%) (Contenido fino: Cu 741t/año)	Concentrado de cobre: 3,068t/año (leyes Cu 22.3%, Au 2.0g/t, Ag 88.3g/t) (Recuperación: Cu 84.3%, Au 42.1%, Ag ---) (Contenido fino: Cu 684t/año, Au 6.3kg/año, Ag 270.9kg/año)
Destino de la producción	Refinería Ventanas de ENAMI	

Nota: En el cuadro se ha excluido el tratamiento de minerales de oro.

(2) Ranking de Producción

En el Cuadro 3-2 se muestra el ranking de producción de la planta Ovalle.

Durante el año 2000, la planta Ovalle produjo 1,425t en contenido fino de cobre, contribuyendo al 0.03% de la producción nacional (4.6 millones de toneladas finas). Empero, cumple una función de fomento de la pequeña y mediana minería bajo los preceptos de ENAMI.

Cuadro 3-2 Ranking de Producción de la Planta Ovalle de ENAMI
(Resultados año 2000)

Productores de Cobre	Producción			Número de Mina / planta
	Mil tmf/año	Participación %		
1. Planta Ovalle	(1.4)	(0.03)	(0.01)	(1)
2. Total ENAMI	11.4	0.3	0.1	4
3. Total CODELCO	1,612.4	34.9	12.2	6
4. Sector Privado	2,990.3	64.8	22.6	27
Total nacional: 2+3+4	4,614.1	100.0	34.9	36
Total mundial	13,230.0		100.0	

Notas:

- Producción: cifras correspondientes a producción en minas y plantas. 7,400tmf/año corresponde a precipitados de cobre producidos en las plantas de ENAMI, la diferencia entre cobre electrolítico (cátodo de cobre) producido a partir de minerales óxidos y concentrados de cobre a partir de minerales sulfurados.
- CODELCO: Corporación Nacional del Cobre de Chile.
- En las cifras de CODELCO se incluye el 49% de participación en El Abra.
- En las cifras del sector privado se excluye el 49% de participación de CODELCO en El Abra. En estas cifras del sector privado se incluye a la mina de mayor envergadura a nivel mundial, Escondida (minerales sulfurados: 175 mil t/día, ley Cu 2.1%; minerales óxidos 70 mil t/día, ley Cu 0.68%), cuya producción anual de concentrados es 2.02 millones de toneladas con 38.4% en ley de cobre y cobre electrolítico 140 mil toneladas con 99.99% en ley de cobre, contribuyendo con el 19.9% de la producción nacional y 6.9% de la producción mundial.
- Las cifras de producción de la planta Ovalle según los reportes de la administración central de ENAMI es 1,800 t/año. En el Cuadro 3-3 se muestra los valores de los resultados de operaciones del año 2000.
- Una de las 5 plantas de ENAMI suspendió las operaciones durante el período contabilizado.
- La cifra del número de mina / planta del sector privado incluye a El Abra.
- La cifra del número de mina / planta del total contabiliza a El Abra como una unidad.

3.1.4 Medio Ambiente

El estero El Ingenio no presenta signos de contaminación aguas arriba de la planta Ovalle. Sin embargo, aguas abajo de la misma, se observa vasta contaminación con sedimentos de sulfato ferroso de coloración amarilla y aguas rojas debido a la presencia de hidróxido férrico. Esta situación se origina por las infiltraciones de la solución de descarte del proceso de lixiviación-intercambio iónico hierro-cobre dispuesta en las pozas de evaporación. Se infiere que esta solución de descarte con alta concentración de ión ferroso (Fe^{2+}) se infiltra por el lecho de las pozas de evaporación y emana hacia el estero El Ingenio, ocasionando la consecuente contaminación. Por otro lado, esta contaminación se debe parcialmente al colapso de las pozas de evaporación debido a un movimiento sísmico de considerable intensidad ocurrida en el pasado.

Asimismo, debido a que estas aguas son parcialmente utilizadas para irrigación, y su calidad excede las normas para este propósito, la planta Ovalle ha sido materia de sanción por el organismo regulador de la actividad agrícola, por un monto ascendente en US\$4,500 (primera sanción: US\$1,500; segunda sanción: US\$3,000).

El organismo gestor del medio ambiente CONAMA exigiría la ejecución de medidas de prevención de contaminación necesarias.

Por su lado, los relaves de flotación del procesamiento de minerales sulfurados de cobre son dispuestos en su tranque, siendo recicladas las aguas de rebose sin emisión fuera del sistema, evitando así la contaminación.

3.1.5 Ubicación de la Planta Ovalle

En la Figura 3-1 se muestra la ubicación de la planta Ovalle y su contorno.

Cuadro 3-3 Resultados de Operaciones de Plantas de Procesamiento de ENAMI Año 2000

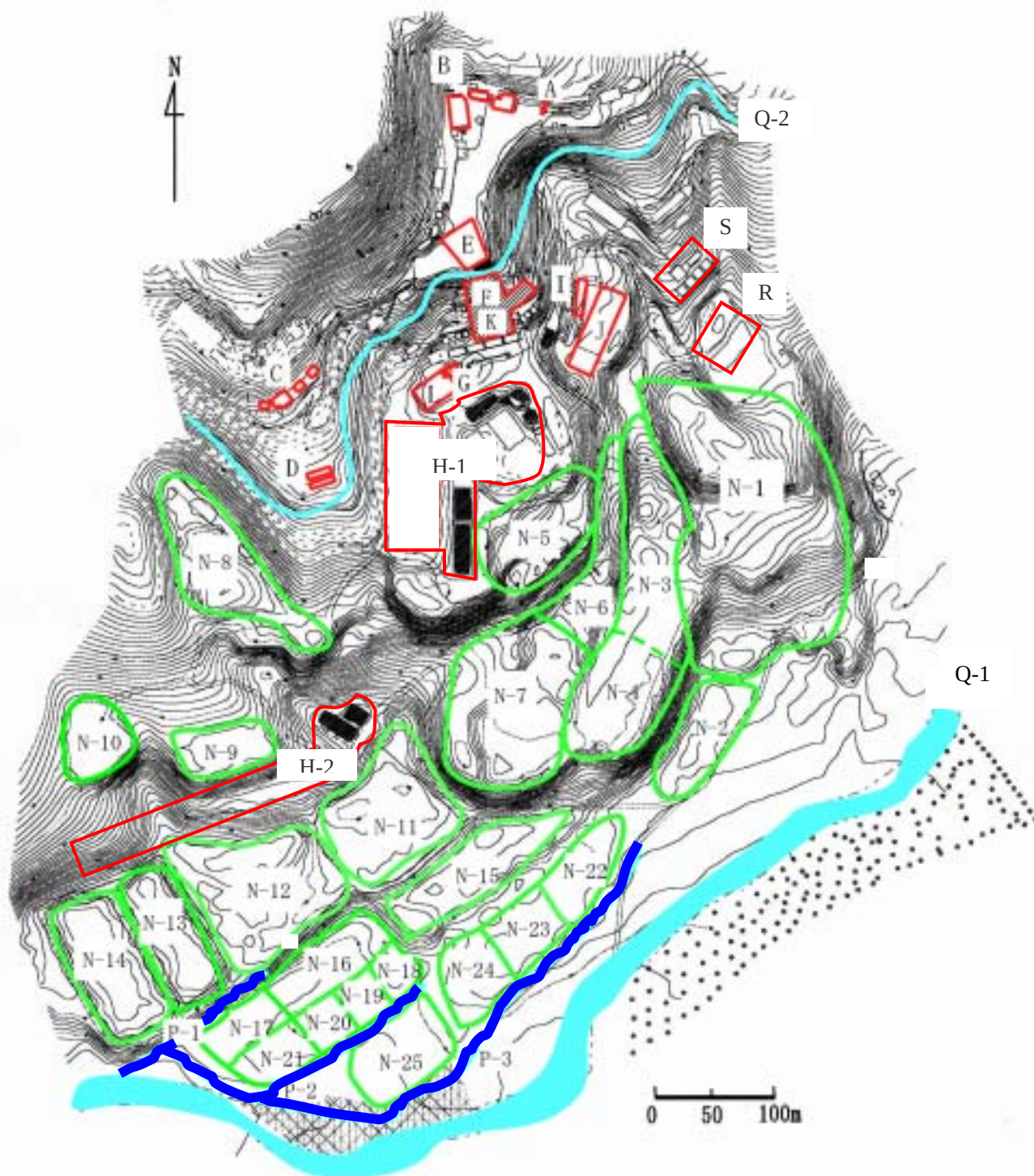
Fuente: MEMORIA ANUAL 2000

Ítem		Taltal	El Salado	Vallenar	Ovalle *7	Subtotal	M. A. Matta
1. Cálculo de Capacidad Instalada							
1) Minerales óxidos de cobre (crudo)	t-seca/año	144,000	148,000	144,000	168,000	604,000	0
2) Minerales sulfurado de cobre (crudo)	t-seca/año	180,000	0	240,000	84,000	504,000	1,320,000
Capacidad Instalada	t-seca/año	324,000	148,000	384,000	252,000	1,108,000	1,320,000
2. Recepción: abastecimiento de minas							
1) Minerales óxidos de cobre (crudo)	t-seca/año	55,754	116,710	32,424	61,530	266,418	Cierre: déficit mineral
2) Minerales sulfurado de cobre (crudo)	t-seca/año	121,009	0	11,721	47,570	180,300	
3. Procesamiento de Minerales							
1) Minerales óxidos de cobre (crudo) *1, *2	t-seca/año	71,155	116,710	35,397	53,173	276,435	
: Tasa de operación	%	49	79	25	32	61 *8	
2) Minerales sulfurado de cobre (crudo) *1, *3	t-seca/año	114,709	0	9,895	47,418	172,022	
: Tasa de operación	%	64	0	4	56	35	
Procesamiento 1) + 2)	t-seca/año	185,864	116,710	45,292	100,591	448,457	
3) Grava (ripios de lixiviación primaria) *4	t-seca/año	24,000	71,383	0	62,504	157,887	
4. Producto							
1) Precipitado de cobre <de óxidos>	t-seca/año	3,082	3,452	1,067	1,390	8,991	
Ley cobre	%	79.66	84.03	81.51	81.95	81.91	
Tonelaje cobre	t-seca/año	2,455	2,901	870	1,139	7,365	
Recuperación cobre	%	77.80	77.66	80.97	75.87	77.81	
2) Concentrado de cobre <de sulfuros>	t-seca/año	10,168	0	1,054	3,072	14,294	
Ley cobre	%	30.76	0	23.87	22.52	28.43	
Tonelaje cobre	t-seca/año	3,128	0	252	684	4,064	
Recuperación cobre	%	93.20	0	100.37	84.40	91.96	
5. Costos operativos							
1) Abastecimiento minerales de cobre (crudo)	US\$/t	2.42	5.33	7.07	4.10	4.00	
2) Trituración	US\$/t	1.62	1.91	9.30	1.94	2.54	
3) Flotación *5	US\$/t	8.92	0	6.16	10.73	9.38	
4) Lixiviación *6	US\$/t	21.9	22.30	11.36	17.27	19.81	
5) Procesamiento minerales óxidos : 1) +2) +4)	US\$/t	25.94	29.54	27.73	23.31	26.35	
	¢ /Cu-lb	34.1	53.9	51.2	49.4	44.9	
6) Procesamiento minerales sulfurados : 1) +2) +3)	US\$/t	12.96	0	22.53	16.77	15.92	
	¢ /Cu-lb	21.6		40.1	52.7	30.6	

Notas *1: Diferencia por merma entre recepción y procesamiento, *2: Trituración→Agglomeración→Lixiviación→Precipitación,

*3: Trituración→Molienda→Flotación→Filtración, *4: Se asume que los ripsos son materia de lixiviación secundaria, sin embargo se desconoce la relación con los demás

*5: [Supuesto] Molienda+Flotación+Filtrado, *6: [Supuesto] Agglomeración+Lixiviación+Precipitación, *7: Existe incongruencia con los datos de obtenidos en la planta Ovalle, *



- | | | |
|--|---------|-------------------------------------|
| | A~L,R,S | : Instalac. tratamiento y conexos |
| | N | : Depósito relave/pozas evaporación |
| | P | : Drenaje agua residual lixiviación |
| | Q-1 | : Estero El Ingenio |
| | Q-2 | : Canal de agua (Talhuen) |
- Nota) ver detalle de leyenda en página siguiente

Figura 3-1 Instalaciones de la Planta Ovalle

Leyenda de la Figura 3-1

- A: Ingreso a las Instalaciones (Garita de Control)
- B: Almacén de materiales
- C: Oficinas Administrativas
- D: Area de vegetación para prevención de contaminación
- E: Area de recepción de minerales: minerales óxidos y sulfurados
- F: Sección chancado: minerales óxidos y sulfurados
- G: Sección aglomeración: minerales óxidos
- H: Sección lixiviación: minerales óxidos
 - H-1 Sección de lixiviación primaria (lixiviación a pilas) y pozas de solución lixiviente
 - H-2 Sección de lixiviación secundaria y pozas de solución lixiviente
- I: Sección precipitación: minerales óxidos
- J: Sección secado de precipitados de cobre: minerales óxidos
- K: Sección molienda y flotación: minerales sulfurados
- L: Sección secado de concentrados de cobre: minerales sulfurados
- N: Sección depósito de relaves y pozas de evaporación: minerales óxidos y sulfurados
 - N-1: Poza de sedimentación de relaves de flotación de cobre 1 (antigua)
 - N-2: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 1 (antigua)
 - N-3: Poza de sedimentación de relaves de flotación de cobre 2 (actual)
 - N-4: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 2 (actual)
 - N-5: Botadero de rípios de percolación (antiguo)
 - N-6: Poza de evaporación de residuales de lixiviación agitada (antigua)
 - N-7: Botadero de rípios de lixiviación en pilas 1 (antiguo)
 - N-8: Botadero de rípios de lixiviación en pilas 2 (antiguo)
 - N-9: Botadero de rípios de lixiviación en pilas 3 (actual)
 - N-10: Botadero de rípios de lixiviación en pilas 4 (actual)
 - N-11: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 1 (actual)
 - N-12: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 2 (actual)
 - N-13: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 3 (en construcción)
 - N-14: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 4 (en construcción)
 - N-15: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 5 (antigua) posee parte rota
 - N-16: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 6 (actual) con infiltración
 - N-17: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 7 (actual) con infiltración
 - N-18: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 8 (actual) con infiltración
 - N-19: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 9 (actual) con infiltración
 - N-20: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 10 (actual) con infiltración
 - N-21: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 11 (actual) con infiltración
 - N-22: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 3 (antigua)
 - N-23: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 4 (antigua)
 - N-24: Poza de sedimentación de relaves de flotación de oro 5 (antigua)
 - N-21: Poza de evaporación de residuales de lixiviación en pilas 12 (antigua) con infiltración
- P : Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación
 - P-1: Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación 1
 - P-2: Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación 2
 - P-3: Canal de drenaje de infiltraciones de pozas de evaporación 3
- Q: Ríos, Canales de agua
 - Q-1: Estero El Ingenio
 - Q-2: Canal Talhuen
- R: Planta Modelo para tratamiento de solución de descarte
- S: Planta piloto para producción de sulfato de cobre a partir de solución rica de lixiviación

3.2 Diagnóstico de las Operaciones

Se requiere asegurar el mejoramiento de las utilidades mediante el incremento de la eficiencia en la producción, con la finalidad de generar recursos para el financiamiento de los costos de protección ambiental. Razón por la cual, a continuación se detallan los análisis relacionados al mejoramiento de ingresos y costos para la Planta Ovalle.

3.2.1 Comparación entre métodos de procesamiento de minerales de cobre

En la planta Ovalle se producen precipitados de cobre mediante lixiviación e intercambio iónico hierro-cobre de minerales óxidos; y concentrados de cobre mediante flotación de minerales sulfurados de cobre, respectivamente.

En el Cuadro 3-4 se compila información relacionada a minerales materia de procesamiento, diagramas de flujo del proceso, viabilidad de recuperar oro y plata, costos directos y la comparación de los métodos de procesamiento en función a la capacidad para minerales óxidos (precipitación → refinación (pirometalurgia), ó SX-EW) y sulfurados (concentración → refinación {flotación → pirometalurgia}).

3.2.2 Minerales óxidos

(1) Procesamiento

Los minerales óxidos son procesados mediante chancado → aglomeración → lixiviación → precipitación para producir precipitados de cobre (cemento de cobre).

En la Figura 3-2 se muestra el diagrama de bloques y balance de materiales (resultados del año 2000) y en la Figura 3-3 el diagrama de flujo simplificado del proceso y en la Figura 3-3 el diagrama de flujo simplificado del proceso.

(2) Resultado operacional

A partir de 1998 en que la cotización del cobre cayó por debajo de 80¢/lb, la producción ha disminuido debido a las dificultades en el abastecimiento del mineral crudo; no obstante a las bajas cotizaciones del cobre, posteriormente al año 2001 ENAMI ha recuperado hasta el 50% en la tasa de operación mediante esfuerzo propio. En los Cuadros 3-5 al 3-11 se muestran los resultados del procesamiento de minerales óxidos de cobre desde 1994; en el Cuadro 3-3 del acápite 3.1 se muestra los costos operativos; y en el Cuadro 3-12 los consumos de principales materiales para el proceso.

Cuadro 3-12 Consumos de Principales Materiales para el Proceso

	Electricidad	Acido sulfúrico	Chatarra de hierro
Consumo unitario	5.57kwh/t-crudo	7.11kg/kg-Cu producido	1.22kg/kg-Cu producido
Precio unitario	0.052US\$/kwh	38.00US\$/t	65.00US\$/t
Costos unitarios	0.29US\$/t-crudo	4.73US\$/t-crudo	1.39US\$/t-crudo
	0.8¢/lb-Cu producido	12.3¢/lb-Cu producido	3.6¢/lb-Cu producido

Nota: tratamiento de mineral crudo y producción de precipitados de cobre en 2000.

(3) Análisis pro Incremento de Ingresos

Los incrementos del ingreso se explican mediante la siguiente fórmula por lotes.

$$\text{Ingreso}_{\text{lote}} = \Sigma \{ \text{Cap.} \times A/100 \times B/100 \times (100 - C)/100 \times D/100 \times E/100 \} (100 - F)/100 \times G$$

En donde,

Cap.: Capacidad instalada para el procesamiento de minerales óxidos de cobre (t/mes, t/año)

A: Tasa de operación (%)

B: Ley de Cu soluble en el crudo (%)

C: Pérdidas (% merma)

D: Tasa de extracción del cobre (% lixiviación)

E: Tasa de precipitación del cobre (% intercambio con Fe)

F: Tasa de inoperatividad (%)

G: Ingreso calculado por ENAMI (US\$/t)

- 1) Cap.: Capacidad instalada para el procesamiento de minerales óxidos de cobre (t/mes, t/año): 14,000t/mes (168,000t/año)

- ① Tema 1 : incremento de escala de producción (contribuiría además a la reducción de costos unitarios).
- ② Análisis 1 : producción en masa (economía de escala), viabilidad del incremento de la producción.
- ③ Resultado 1 : no se encuentra en condiciones de realizar incrementos de producción, debido cotizaciones del cobre por debajo de 80¢/lb después de 1998.
- ④ Medida 1 : es poco probable el incremento del abastecimiento del mineral en las actuales condiciones de la pequeña y mediana minería de la zona de influencia; asimismo, sería posible asegurar el abastecimiento de minerales si ENAMI explotara directamente las minas de su propiedad.
- ⑤ Objetivo 1 : a corto plazo, no realizar planes de incremento capacidad instalada de las instalaciones.

- 2) A: Tasa de operación (%): *Rate of Capacity Utilization* (RCU)

- ① Tema 2 : mantenimiento de una alta tasa de operación que consiste en el mayor factor de afectación a la eficiencia de las operaciones.
- ② Análisis 2 : tasa de operación relacionada directamente al aseguramiento del abastecimiento del mineral crudo.
- ③ Resultado 2 : como se mencionó arriba, debido a las dificultades en el abastecimiento del mineral, la tasa de operación ha decaído. Esta situación se debe a la disminución de actividades de extracción en las minas causada por las bajas cotizaciones del metal (63 - 89¢/lb entre 1998 y 2000), siendo un factor que está fuera de control de ENAMI. Entre los años 1998 y 2000 la tasa de operación se redujo al 40%.

En los siguientes cuadros y figuras se muestran los resultados de las tasas

de operación del procesamiento de minerales óxidos y sus correspondientes cotizaciones del cobre desde 1994.

- Cuadro 3-13: Tasa de operación en el procesamiento de minerales óxidos de cobre: resultados 1994 – 2000.
- Cuadro 3-14: Cotización del cobre metálico *LME grade A settlement* (venta): resultados 1994 – 2001.
- Figura 3-4: Correlación entre la tasa de operación del procesamiento de minerales óxidos de cobre versus cotización del cobre: resultados 1994 – 2000.

En el Cuadro 3-15 se compila la correlación entre la tasa operación del procesamiento de minerales óxidos de cobre versus la cotización del cobre.

Cuadro 3-15 Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Oxidos y Cotizaciones

Periodo	Meses	Cotización Cu* ¢/lb			Tasa de Operación Procesamiento Oxidos Cu**				
		Nivel	Rango	Prom.	<50 %	50% a 80%	80% a 100%	>100 %	Prom.
94.1 al 96.11	47	Alto	82 a 140	111.9	10mm [21 %]	18mm [38 %]	18mm [38 %]	1mes [2 %]	70,6
96.12 al 00.12	37	Bajo	63 a 89	76.3	27mm [73 %]	9mm [24 %]	1mes [3 %]	0mm [0 %]	40,2

Notas: *: LME Grade A Settlement (venta), **: entre []: % temporal por nivel de operatividad

Se observa que durante los períodos de alta cotización del cobre (1994.1 – 1996.11: mayor a 82¢/lb, promedio 112¢/lb), el 40% de los mismos superan una tasa de operación mayor al 80%, el 20% menor al 50% y en promedio una tasa del 70%.

Por otro lado, se observa que durante los períodos de baja cotización del cobre (1996.12 – 2000.12: menor de 89¢/lb, promedio 76¢/lb), se reducen las tasas de operación en su totalidad, siendo sólo el 3% de los períodos que superan una tasa de operación mayor al 80%; la mayor parte, es decir el 73%, menor al 50% y en promedio una tasa del 40.2%, dificultándose en llegar al 50% de operatividad. Especialmente el año 2000 fue notoriamente baja con una tasa del 25.2%.

La adquisición de los minerales óxidos de cobre, tal como los minerales sulfurados de cobre como se verá más adelante, son eficientes por encima de un rango de cotizaciones de cobre entre 80¢/lb y 90¢/lb; y contrariamente deficientes por debajo de él.

Sin embargo, durante el año 2000, se pudo haber superado la tasa de operación del 50% de haber aplicado la lixiviación secundaria, manteniendo esta situación incluso en período de bajas cotizaciones del

cobre.

Efectivamente, la situación a marzo del año 2002, la máxima tasa de operación alcanzó a una tasa del 57% (8,000t/mes) y en promedio 43% (6,000t/mes).

- ④ Medida 2 : deberá esforzarse en mejorar y mantener la tasa de operación con el fin de beneficiarse con la correspondiente reducción de costos en forma estable. Se deberá practicar la lixiviación secundaria hasta alcanzar el estado estacionario con el objeto de estabilizar las operaciones.

Además, se deberán realizar mejoramientos en el sistema de incentivos para la adquisición del mineral crudo, inversión para exploraciones y transferencia de tecnología. Así como analizar la posibilidad de explotar directamente yacimientos de su propiedad modificando su actual objeto estatutario.

Actualmente se han introducido nuevas modalidades de incentivos con el fin de mejorar el abastecimiento de minerales.

- ⑤ Objetivo 2 : tasa de operación estable del 90% ($= 14,000\text{t/mes} \times 90\% = 12,600\text{t/mes}$ ó $151,200\text{t/año}$)

Año 2000: 25.2% (1994 – 2000: 25.2% – 85%, promedio: 57.2%)

Para el incremento de la tasa de operaciones se requiere de una mejora en las cotizaciones (entre 80¢/lb y 90¢/lb), mejora en el sistema de incentivos para la adquisición de mineral crudo y una operación estable que incluya practicar lixiviación secundaria.

3) B (Ley de cobre soluble en el mineral crudo)

- ① Tema 3 : de ser viable la reducción de costos unitarios, se podrá reducir la ley de corte del mineral. Con ello se dispondrá de una mayor cantidad de reservas explotables. Ello facilitará las operaciones de extracción en las minas y en consecuencia se obtendrá mayor abastecimiento de mineral crudo.

- ② Análisis 3 : reducción de la ley de mineral crudo acompañado de una reducción de costos unitarios.

- ③ Resultado 3 : la ley del mineral crudo oscila entre 1.9 y 2.3% (1994 – 2000). Actualmente, se está practicando la reducción de la ley de corte del mineral crudo adquirido.

- ④ Medida 3 : con el aumento de la cotización se deberá disminuir la ley de corte a parte a la disminución consecuente de ésta.

En el caso de los minerales óxidos, se deberá tener cuidado en evitar la mezcla de minerales sulfurados de cobre insolubles (primarios y secundarios) que no son materia de lixiviación, especialmente los minerales sulfurados primarios. Asimismo, se deberá tener en cuenta como se describe más adelante en el acápite 5)-4, la actividad bacteriana pasiva

permite la extracción de minerales sulfurados secundarios debido a su función oxidante.

- ⑤ Objetivo 3 : reducción en aproximadamente 1% de ley de cobre del mineral crudo, simultáneamente reducción de costos unitarios. (nota: año 2000: 2.1%, 【1994-2000: 1.4%-2.8%, mínimo mensual: 1.4%】)

4) C (Pérdidas / % merma)

Tal como se muestran en los cuadros 3-5 al 3-11, las pérdidas por generación de polvos (pérdida 1) en las operaciones de chancado, aglomeración y lixiviación son aproximadamente 1%; asimismo, de los mismos cuadros se estiman 0.05% de pérdidas en la operación de precipitación (pérdida 2), calculadas sobre la base del contenido metálico del cobre. Además, se deberán considerar las pérdidas ocasionadas por altas precipitaciones pluviales.

4)-1 Pérdida 1: generación de polvos en chancado y aglomeración

- ① Tema 4 : se generan gran cantidad de polvo durante las operaciones de apilamiento y movimiento de minerales con alta ley de cobre, en las operaciones de chancado, alimentación y apilamiento para aglomeración y desmontes de aglomeración, ocasionando también pérdidas.

La reducción de éstas pérdidas contribuirá considerablemente la recuperación y consecuentemente al aumento de los ingresos.

Asimismo, de ser posible la clasificación de los finos en la operación de chancado, sería viable prevenir el fenómeno de *channeling* en la lixiviación y la protección ambiental, aparte de prevenir las mermas.

- ② Análisis 4 : reducción de polvos.
- ③ Resultado 4 : se observa considerable reducción de polvos al aplicarse las recomendaciones de rociado de agua.
- ④ Medida 4 : al mismo tiempo de prevenir la generación de polvo, se deberá analizar la recuperación de finos (generación primaria durante el abastecimiento y secundaria durante chancado: lamas) mediante los procesos hidrometalúrgicos.
- ⑤ Objetivo 4 : reducción de pérdidas (tipo 1) por generación de polvo en las operaciones de chancado, aglomeración y lixiviación al 0.5% sobre la base del contenido metálico de cobre. (nota: año 2000: 1% 【1994-2000: 0.9-1.1%, promedio: 1.0%】)

4)-2 Operación de lixiviación

- ① Tema 5 : pérdidas de solución lixivante en las pilas de lixiviación.
- ② Análisis 5 : prevención de infiltraciones de solución lixivante al subsuelo.
- ③ Análisis 5 : se está previniendo la infiltración mediante láminas de polietileno de alta densidad (HDPE). Sin embargo, no es posible prevenir las pérdidas de la solución lixivante adherida a los materiales ripios.
- ④ Medida 5 : mantenimiento de las estructuras para continuar la prevención de las infiltraciones hacia el subsuelo.

- [illegible]

epídota



5)-2 Recuperación de oro y plata

- ① Tema 8 : imposibilidad de recuperar oro y plata en caso los minerales los contengan, debido al uso de lixiviación ácida.
- ② Análisis 8: análisis de viabilidad de recuperación de oro y plata contenidos en los minerales óxidos de cobre para el caso del procesamiento de minerales óxidos de cobre.
A continuación se detalla los posibles métodos alternativos de recuperación:
 - a) Método de lixiviación con cianuro: recuperación mediante lixiviación cianurada sobre los ripios de lixiviación ácida previa molienda de éstos y regulación de pH del rango alcalino al ácido.
 - b) Método de segregación: tratamiento mediante calentamiento a 740 grados centígrados aproximadamente y volatilización alcalina con adición de NaCl formando HCl y gas cloro, generando cloruro de cobre, para posteriormente recuperar el cobre metálico reducido con coque, mediante conminución y flotación.
 - c) Método de flotación (de malaquita): recuperación mediante flotación previo tratamiento con Na₂S y NaHS
 - Utilización de colectores tipo Mercapto-benzol-diazol (serie AERO Promoter 400) para recuperarlos en forma conjunta con minerales óxidos de cobre.
- ③ Resultado 8 : los minerales con ley de oro por encima del 0.3g/t son materia de recuperación. Por debajo de este valor no son materia de recuperación.
- ④ Medida 8 : se requiere reconocer la composición mineralógica y el contenido metálico de oro y plata.
- ⑤ Objetivo 8 : se deberá continuar con la recuperación de oro y plata hasta niveles permisibles.

5)-3 Tasa de lixiviación de minerales óxidos de cobre

- ① Tema 9 : incremento de control de operaciones de lixiviación, mediante mejoramiento del proceso y tasa de extracción (lixiviación).
- ② Análisis 9 : reconocimiento de la tasa de lixiviación independiente por tipo de mineral.
- ③ Resultado 9 : se reconocieron las tasas de lixiviación por principales tipos de minerales, mediante las pruebas de lixiviación en columna.
- ④ Medida 9 : se requiere reconocer las tasas de extracción para cada tipo de mineral, mediante pruebas de lixiviación, como medida para responder a los cambios de composición mineralógica a largo plazo y por cada zona de extracción en las minas.

Pruebas de lixiviación:

Factores:

- Tipo de mineral (3 tipos, de ser posible por cada tipo de mineral): minerales óxidos (crisocola, malaquita, etc.), minerales sulfurados primarios (calcopirita, etc.), minerales sulfurados secundarios (calcocita Cu_2S , covelina CuS).
- Granulometría (3 clases): gruesos (columna empacada), medianos (columna empacada), finos (agitación mecánica).
- Presencia de bacteria (2 opciones): existencia ó inexistencia de *Thiobacillus ferrooxidans*.
- Tiempo: gruesos (aproximadamente 1,5 meses), medianos (aproximadamente 1,5 meses), finos (aproximadamente 72 horas).

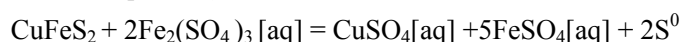
Producto : curvas (función de avance) de lixiviación para cada tipo de mineral.

Aplicación: estimación del comportamiento de las operaciones mediante el prorrateo geométrico de las tasas de lixiviación independientes para cada tipo de mineral, de acuerdo a la composición del lote de lixiviación, con las curvas (función de avance) de lixiviación.

- ⑤ Objetivo 9 : mejoramiento de la extracción de cobre y control de operaciones. Incremento de la tasa de lixiviación al 86.3%, basado en +3.1% y +1% de las medidas descritas en los acápites 4)-4 y 5)-3 y 5)-4 respectivamente. (nota: año 2000: 82.2% 【1994-2000: 60.3-82.2%, promedio: 76.7%】)

5)-4 Tasa de lixiviación de minerales sulfurados de cobre

- ① Tema 10 : en el caso que contengan minerales sulfurados de cobre primario y secundario, dependiendo del contenido de éstos, se observan decrementos en las tasas de lixiviación. Generalmente, la oxidación de los minerales primarios como calcopirita es compleja incluso en presencia de bacterias; sin embargo, para los secundarios como covelina y calcocita, la lixiviación es viable, hasta cierto grado, en presencia de bacterias ú oxidantes fuertes. Se deberá verificar la viabilidad de recuperar cobre insoluble contenido en el mineral crudo utilizando bacterias remanentes en la planta modelo y ión férrico (el reciclaje de agua tratada en la planta piloto hacia el circuito de lixiviación proveerá al ión férrico que es un fuerte oxidante. La reacción química con la calcopirita es: $\text{CuFeS}_2 + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3[\text{aq}] = \text{CuSO}_4[\text{aq}] + 5\text{FeSO}_4[\text{aq}] + 2\text{S}^0$).



- ② Análisis 10 : En cuanto a minerales sulfurados primarios:
- Clasificación por rajos con la finalidad de prevenir la mezcla con los minerales óxidos.
 - Incremento de la tasa de extracción del cobre mediante la utilización

de oxidante como ión férrico.

En cuanto a los minerales sulfurados secundarios:

- Clasificación por rajos con la finalidad de prevenir la mezcla con los minerales óxidos.
- Incremento de la tasa de extracción mediante uso eficiente de bacterias.

- ③ Resultado 10 : actualmente no se realiza lixiviación de minerales sulfurados mediante uso metódico de bacterias.
- ④ Medida 10 : asegurar el incremento en la tasa de lixiviación, mediante la aplicación metódica de lixiviación bacteriana y oxidantes fuertes como ión férrico para minerales sulfurados (primarios) secundarios, verificando la proporción de minerales primarios y secundarios para cada lote de mineral crudo adquirido. En seguida, se deberá planificar la utilización parcial de bacterias cultivadas en la planta de tratamiento de la solución de descarte y ión férrico generado en la operación de oxidación de la misma, para el proceso de lixiviación. La utilización de bacterias requiere del suministro de oxígeno y alimentación continua de bacterias al circuito de lixiviación. La discontinuidad de bacterias en la alimentación requerirá de un período de cultivo previo.
- ⑤ Objetivo 10 : incremento en 1% de la tasa de lixiviación, mediante recuperación de minerales sulfurados secundarios. (nota: año 2000: escaso aprovechamiento: estimado; 【 1994-2000: escaso aprovechamiento: estimado】)

5)-5 Mezcla de calizas

- ① Tema 11 : en caso de mezcla con calizas (mineral: calcita), aumenta el consumo de ácido sulfúrico proporcionalmente a su contenido, incurriendo en mayor consumo de ácido hasta el extremo de bajar al mínimo requerido para la lixiviación (*starvation quantity*).
- ② Análisis 11 : disminución de la mezcla de calizas y control de adición de ácido sulfúrico mediante medidor continuo de concentración de la solución lixivante en la alimentación de las pilas.
- ③ Resultado 11 : actualmente se controla la adición de ácido sulfúrico.
- ④ Medida 11 : se deberá identificar la presencia de calizas en las zonas de extracción y prevenir su mezcla con minerales óxidos; asimismo, continuar la supervisión y control de adición de ácido sulfúrico.
- ⑤ Objetivo 11 : prevención de disminución de la tasa de extracción y minimización del consumo de ácido sulfúrico.

5)-6 Granulometría

- ① Tema 12 : granulometría óptima para la lixiviación.
- ② Análisis 12 : condiciones de chancado (luz de chancado, tamaño de malla, etc.) y

tamaño de partícula; tratamiento de finos mediante lixiviación alterna al método por pilas.

- ③ Resultado 12 : actualmente el tamaño de partícula ha sido fijado en ($P_{80} = -3/8''$). El tratamiento de finos ha sido abandonado debido a resultados deficientes.
 - Método de lixiviación agitada: lixiviación en tanques mediante agitación mecánica (paralizado desde 1996).
 - Método de lixiviación por percolación: percolación en tanques (paralizado desde 1998).
- ④ Medida 12 : la óptima granulometría dependerá de los resultados del estudio de lixiviación citado en el acápite 5)-3, reconociendo la curva (función de avance) de lixiviación por tamaño de partícula. Análisis de viabilidad para el tratamiento de granos medianos por lixiviación diferencial.
- ⑤ Objetivo 12 : continuidad de análisis de viabilidad para el incremento de la tasa de lixiviación por tamaño de partícula.

5)-7 Uniformidad

- ① Tema 13 : estabilidad en las operaciones de lixiviación mediante disminución de la variabilidad en las condiciones de operación uniformizando el apilamiento de minerales.
- ② Análisis 13 : mezclado de minerales crudos de misma clasificación.
- ③ Resultado 13 : no se realiza el mezclado del mineral crudo triturado debido al sistema de valorización (cantidad, leyes) por lotes del mineral adquirido.
- ④ Medida 13 : análisis de viabilidad de mezclado luego de chancado.
- ⑤ Objetivo 13 : continuidad de análisis pro incremento de la tasa de lixiviación mediante homogenización del apilamiento.

5)-8 Aglomeración y precurado

- ① Tema 14 : optimización de las operaciones en aglomeración y precurado.
- ② Análisis 14 : optimización de los factores inherentes a la adición de ácido sulfúrico, agua, temperatura, etc.
- ③ Resultado 14 : se ha alcanzado la optimización. Una alta tasa de lixiviación se obtiene mediante la extensión de la superficie de contacto de las partículas de minerales. En el caso de la lixiviación por pilas se requiere comúnmente un tamaño de partícula entre $-3/8''$ y $-1/4''$; sin embargo, se genera gran cantidad de finos. Estos finos ocasionan interferencias (*channeling*: canales fijos de drenaje de la solución lixivante) en el proceso de lixiviación, las que se previenen mediante aglomeración. A través de esta aglomeración se logran óptimas condiciones de penetración y el precurado que permite el incremento de la extracción, así como la prevención de remanencia de finos.
- ④ Medida 14 : análisis del mejoramiento de la eficiencia.
- ⑤ Objetivo 14 : incremento de la lixiviación mediante aglomeración y precurado.

5)-9 Lixiviación en pilas

- ① Tema 15 : lixiviación óptima.
- ② Análisis 15 : optimización de los factores inherentes a la forma de pila, ciclo de operación, número de etapas (primaria, secundaria), método de aspersión y flujo del lixivante, uso de bacterias, prevención de *channeling*, influencia de lluvias, aplicación de otros métodos de lixiviación, etc.
- ③ Resultado 15 : se ha alcanzado la optimización.
- ④ Medida 15 :
 - Estabilización de las operaciones determinando las etapas de lixiviación primaria y secundaria: ver acápite 2).
 - Uso eficiente y metódico de bacterias: ver acápite 5)-4.
 - Análisis de otros métodos de lixiviación: aparte de los métodos de lixiviación para minerales de alta ley, lixiviación en sitio que se aplica en el lugar de extracción del mineral crudo; *rubble leaching* que se realiza luego de disparos en interior de la mina; *dump leaching* para minerales de baja ley; percolación y lixiviación agitada idóneas para minerales de baja granulometría: ver acápite 5)-6.
- ⑤ Objetivo 15 : incremento de la tasa de lixiviación mediante introducción de óptima metodología de lixiviación.

6) E (Tasa de reducción del cobre: precipitación del cobre)

6)-1 Tasa de precipitación del cobre

- ① Tema 16 : optimización de la precipitación de cobre
- ② Análisis 16 : optimización de los factores inherentes a la cantidad de chatarra de hierro, tiempo y condiciones de reacción (pH, método de agitación, temperatura, concentración de cobre, calidad del hierro), etc.
- ③ Resultado 16 : la tasa de precipitación del 95% es satisfactoria. Sin embargo, la concentración del cobre en la solución de descarte oscila entre 2.9 y 4.1%, en promedio 3.8% valores no despreciables registrados entre 1994 y 2000.
- ④ Medida 16 : análisis del mejoramiento de la eficiencia.
- ⑤ Objetivo 16 : mantenimiento de la tasa de precipitación en 95%. (nota: año 2000: 94.9% 【1994-2000: 94.9-95.0%, promedio: 94.9%】)

6)-2 Ley de cobre en el precipitado

- ① Tema 17 : optimización de la ley de cobre en el precipitado.
- ② Análisis 17 : optimización de los factores inherentes a las condiciones de la reacción en función a la tasa de precipitación.
- ③ Resultado 17 : actualmente se tiene controlada en condiciones óptimas.
- ④ Medida 17 : análisis del mejoramiento de la eficiencia. Asimismo, con la finalidad de evitar la disminución de la ley causada por la oxidación, la operación de secado deberá realizarse *in-promtu*. Además, se deberá analizar la posibilidad de mejoramiento de la ley eliminando el hierro mediante

separación magnética posteriormente a chancado.

- ⑤ Objetivo 17 : mantenimiento de la ley del precipitado de cobre en 83%. (nota: año 2000: 82.9% 【1994-2000: 75.3-82.9%, promedio: 78.3%】)

7) F (Tasa de inoperatividad)

- ① Tema 18 : disminución de la tasa de inoperatividad.

- ② Análisis 18 : prevención de:

- Desabastecimiento de mineral crudo
- Averías en las instalaciones
- Accidentes personales
- Conflictos laborales

- ③ Resultados 18 : el desabastecimiento del mineral crudo es un grave problema que afecta enormemente a la tasa de operación. Este tiene relación con las fluctuaciones en la cotización del cobre y los descansos prolongados en forma concentrada: ver acápite 2). En los últimos años, los demás aspectos se encuentran en condiciones satisfactorias.

- ④ Medida 18 : analizar nuevamente las formas de prevenir la disminución de la tasa de inoperatividad.

- ⑤ Objetivo 18 : incremento de la tasa de operación mediante la prevención del desabastecimiento del mineral crudo: ver acápite 2).

8) G (Valorización del precipitado de cobre 【ENAMI】)

- ① Tema 19 : mejoramiento y revisión de la valorización de actividades (ingresos – costos).

Los ingresos originados por el procesamiento de minerales óxidos son los siguientes:

Maquila por abastecimiento de minerales crudos + maquila por chancado de minerales crudos + maquila por procesamiento (aglomeración, lixiviación, precipitación) + valorización de precipitados de cobre + otros conceptos.

Es decir, la composición de los costos está relacionada con la cantidad de mineral procesado y la eficiencia en la producción de precipitados de cobre de la planta Ovalle, comparado con resultados virtuales de una planta estándar definida por ENAMI. A ello se debe adicionar los ingresos obtenidos por la venta de sulfato de cobre que realiza directamente. En efecto, siendo la producción de sulfato de cobre una actividad practicada recientemente y estando en estado de prueba, no cuenta aun con un sistema de valorización mediante su comparación con una planta estándar.

- ② Análisis 19 :

- Incremento del volumen de procesamiento.
- Incremento de recuperación de cobre y ley de cobre en el precipitado.

- ③ Resultado 19 : los ingresos inherentes al procesamiento de minerales óxidos se calcularon del siguiente modo:
- Resultado del año 2000: $Y = 654,485 \text{US\$}/\text{año}$
 - Objetivo: Mineral procesado = Capacidad instalada ($168,000 \text{t}/\text{año}$) $\times$ tasa de operación (90%) = $151,200 \text{t}/\text{año}$, $\rightarrow X_1 = 2,611,519 \text{US\$}/\text{año}$
 - Efectivo (máximo): Mineral procesado = Capacidad instalada ($168,000 \text{t}/\text{año}$) $\times$ tasa de operación (57%) = $96,000 \text{t}/\text{año}$, $\rightarrow X_2 = 1,657,461 \text{US\$}/\text{año}$
- ④ Medida 19 : Incremento del volumen de procesamiento de minerales, tasa de recuperación de cobre y ley de cobre en el precipitado.
- ⑤ Objetivo 19 : Análisis y mejoramiento continuo. Análisis a corto y largo plazo con respecto al volumen de procesamiento.
- (4) Análisis pro Reducción de Costos
- Se deberá plasmar la reducción del costo total, sin embargo, como indicadores de la gestión, son importantes los costos unitarios ($\text{US\$}/\text{t}_{\text{mineral crudo}}$ y $\text{¢}/\text{lb}_{\text{producción Cu}}$).
- Como objetivo para la reducción del costo total de producción, se deberá establecer una reducción del 5% en costos unitarios relacionados.
- $23.3 \text{US\$}/\text{t}_{\text{mineral-crudo}}$ (año 2000, fuente: Memoria Anual 2000: ENAMI) $\rightarrow$
 $22.1 \text{US\$}/\text{t}_{\text{mineral-crudo}}$
- Como resultado calculado se obtuvo: $55.6 \text{¢}/\text{lb}_{\text{producción-Cu}}$ (resultado año 2000: $60.4 \text{¢}/\text{lb}_{\text{producción-Cu}}$)
- 1) Fuerza Laboral
- ① Tema 20 : optimización en la organización y nómina.
- ② Análisis 20 : revisión del plan de producción proyectando la situación actual hacia el futuro.
- ③ Resultado 20 : se encuentra realizando racionalización del personal acorde al plan de producción. (nota: año 1997: 147 trabajadores, año 1998: 77 trabajadores, año 1999: 69 trabajadores)
- ④ Medida 20 : racionalización de acuerdo a requerimiento.
- ⑤ Objetivo 20 : adecuación continua.
- 2) Ahorro de Energía
- ① Tema 21 : optimización del procesamiento: reducción del consumo de energía eléctrica, combustible y aceites.
- ② Análisis 21 : procesamiento de acuerdo a la capacidad instalada y revisión del proceso.
- ③ Resultado 21 : se está plasmando la reducción de los costos mediante el almacenamiento de minerales, con el objeto de procesarlos en masa disminuyendo los consumos de electricidad y combustibles entre otras fuentes de energía.
- ④ Medida 21 : reducción de los costos mediante el almacenamiento de minerales, con el objeto de procesarlos en masa, y mejoramiento del proceso disminuyendo los consumos de electricidad y combustibles entre otras fuentes de energía.

- ⑤ Objetivo 21 : análisis continuo de acuerdo a las condiciones vigentes.

3) Ahorro de materiales

- ① Tema 22 : optimización del procesamiento: minimización de consumo de ácido sulfúrico, chatarra de hierro y los materiales sujetos al desgaste.
- ② Análisis 22 : procesamiento de acuerdo a la capacidad instalada y revisión del proceso. Además, análisis del uso de anti-abrasivos.
- ③ Resultado 22 : se está plasmando la reducción de los costos mediante el almacenamiento de minerales, con el objeto de procesarlos en masa disminuyendo los consumos del ácido sulfúrico y chatarra de hierro.
- ④ Medida 22 : reducción de los costos mediante el almacenamiento de minerales, con el objeto de procesarlos en masa disminuyendo los consumos del ácido sulfúrico y chatarra de hierro. Para los materiales sujetos al desgaste, se reducirán los costos unitarios con el empleo de anti-abrasivos. Ello contribuirá considerablemente a la reducción del tiempo de mantenimiento debida a la disminución de la frecuencia de reemplazo de piezas.

- ⑤ Objetivo 22 : mejoramiento continuo.

(5) Otros factores

1) Método de Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

- ① Tema 23 : aplicación del método de procesamiento de minerales óxidos de cobre económicamente viable.
- ② Análisis 23 : análisis de aplicación de extracción por solventes-electrodeposición (SX-EW) en reemplazo del método actual de precipitación.
- ③ Resultado 23 : de acuerdo a la comparación de costos directos para la producción de cobre electrolítico como producto final (en el siguiente cuadro se muestran los costos directos de cada método) que se muestra en el Cuadro 3-4 del acápite 3.2.1, el método de precipitación es considerablemente más oneroso respecto al SX-EW. Sin embargo, debido a su mediana escala de producción, no podría asumir los altos costos de depreciación de una gran inversión que requiere la introducción de SX-EW; razón por la cual se justifica continuar con la aplicación del método de precipitación.

Costos Directos:

Minerales óxidos	Precipitación → refinación (pirometalúrgica) / socavón	70-90¢/lb aprox
	SX-EW / rajo abierto	30-50¢/lb aprox
Minerales sulfurados	Flotación-refinación / rajo abierto	40-60¢/lb aprox
	Flotación → refinación (pirometalúrgica) / socavón	50-70¢/lb aprox

- ④ Medida 23 : de existir la oportunidad de adquirir minerales óxidos a gran escala en forma estable, se deberá analizar la factibilidad de aplicar el método SX-EW.
- ⑤ Objetivo 23 : mejoramiento continuo.

2) Método de procesamiento de solución rica (lixiviación)

- ① Tema 24 : el método de producción de precipitados de cobre mediante precipitación (intercambio iónico hierro-cobre) es una actividad poco rentable y es causal de contaminación ambiental debida a la solución de descarte que se genera.
- ② Análisis 24 : análisis de factibilidad de viraje al método *SX-EW*.
- ③ Resultado 24 : actualmente se ha puesto en marcha una planta piloto de producción de sulfato de cobre.
- ④ Medida 24 : con respecto a la producción del sulfato de cobre, se requiere realizar un estudio de factibilidad haciendo énfasis en la investigación de mercado a largo plazo. Asimismo, se deberá analizar la venta de solución rica de la lixiviación a plantas de electrodeposición.
- ⑤ Objetivo 24 : análisis continuo de acuerdo a las condiciones vigentes.

3) Método de procesamiento de solución de descarte (lixiviación)

- ① Tema 25 : prevención de contaminación derivada de la solución de descarte de lixiviación.
- ② Análisis 25 : análisis alterna al método de tratamiento de la solución de descarte.
- ③ Resultado 25 : actualmente se tratan 100m³/día de solución de descarte en la planta modelo (capacidad máxima efectiva: 176m³/día), como medida de prevención de contaminación. El agua tratada es reciclada a la operación de lixiviación, contribuyendo a la disminución del consumo de agua fresca del proceso, siendo el volumen de reposición requerido, la humedad contenida en la torta de filtración de los precipitados y las pérdidas en el circuito. En cuanto a la parte no tratada, se requiere un análisis por separado (ver acápite 7).
- ④ Medida 25 : Reciclaje de agua tratada de la planta modelo y la parte de la solución de descarte no tratada en esta planta, al proceso de lixiviación. Asimismo, análisis de viabilidad de obtención de subproductos como hematita (Fe₂O₃), ferrita (FeO-Fe₂O₃) y sulfato ferroso (FeSO₄) a partir de la solución de descarte; así como ión férrico mediante oxidación.
- ⑤ Objetivo 25 : análisis continuo.

(6) Compilación

En el Cuadro 3-16 se muestra la recopilación de los mejoramientos requeridos y objetivos del procesamiento de minerales óxidos de cobre.

- Mejoramiento 1: incremento de ingresos (valorización de producción)

- ① Incremento de tasa de operación: resultado año 2000 (Y): 25.2%; objetivo (X₁): 90%; máximo efectivo (X₂): 57.1%.

(Medidas): revisión del sistema de fomento para la adquisición de minerales crudos, explotación directa de minas por ENAMI, reducción de ley de corte para la adquisición del mineral, práctica estable de lixiviación secundaria,

cotización óptima del cobre: mayor de 80¢/lb, etc.

② Incremento de tasa de recuperación de cobre

Resultado año 2000 (Y): 77.3%; objetivo (X₁): 81.5%; máximo efectivo (X₂): 81.5%.

(Medidas): reducción de pérdidas de cobre (prevención de emisión de polvos, procesamiento hidrometalúrgico de finos); incremento de extracción de cobre (procesamiento con tamaño de partícula óptima, reciclaje de solución de descarte tratada al proceso de lixiviación; utilización de bacteria en lixiviación); incremento de tasa de precipitación (tasa de intercambio iónico).

③ Incremento de ley del precipitado

Resultado año 2000 (Y): 82.9%; objetivo (X₁): 83.0%; máximo efectivo (X₂): 83.0%.

(Medida): supervisión continua.

• Mejoramiento 2: reducción de costos

Resultado año 2000 (Y): 23.31US\$/t_{crudo}; objetivo (X₁): 22.14US\$/t_{crudo}; máximo efectivo (X₂): 22.14US\$/t_{crudo}.

(Medida): reducción de costos en 5%.

Se analizó el grado de mejoramiento calculando la diferencia entre los valores objetivo (90% de la capacidad instalada: 168,000t/año × 90% = 151,200t/año), resultado del año 2000 (año base: 42,365t/año de procesamiento) y máximo efectivo (57% de la capacidad instalada: 168,000t/año × 57% = 96,000t/año). En este cálculo no se han considerado los efectos de la producción del sulfato de cobre ni el proceso de tratamiento de la solución de descarte.

En cuanto a los resultados generales, a pesar de aumentar la tasa de operación hasta el 90% de la capacidad instalada, no ha sido posible evitar los resultados negativos ya que viene arrastrando pérdidas desde el año 2000. Tanto para el nivel objetivo (X₁: -735,949US\$/año) como para el máximo efectivo (X₂: -467,979US\$/año), los valores estimados resultaron ser negativos.

A continuación se muestra la compilación de los resultados. Los valores entre paréntesis corresponden a valores sin efectuar los mejoramientos en las operaciones.

Los efectos (contribución) de los mejoramientos se estimaron en +452,676US\$/año y +286,704US\$/año respectivamente para el nivel objetivo (X₁) y máximo efectivo (X₂).

Compilación de Resultados: Procesamiento de Minerales Oxidos (Unidad: US\$/año)

	Objetivo (X ₁)	Máx efect.(X ₂)	2000 (Y)	(X ₁) – (Y)	(X ₂) – (Y)
Proces. (t/año)	151,200	96,000	42,365		
Ingresos (A)	2,611,519	1,657,461	654,485	+1,957,034	+1,002,976
	(2,335,846)	(1,483,077)		(+1,681,361)	(+828,592)
Costos (B)	3,347,568	2,125,440	987,528	+2,360,040	+1,137,912
	(3,524,471)	(2,237,760)		(+2,536,943)	(+1,250,232)
(A) – (B)	-735,949	-467,979	-333,043	-402,906	-134,936
	(-1,188,625)	(-754,683)		(-855,582)	(-421,640)
Contribución	+452,676	+286,704			

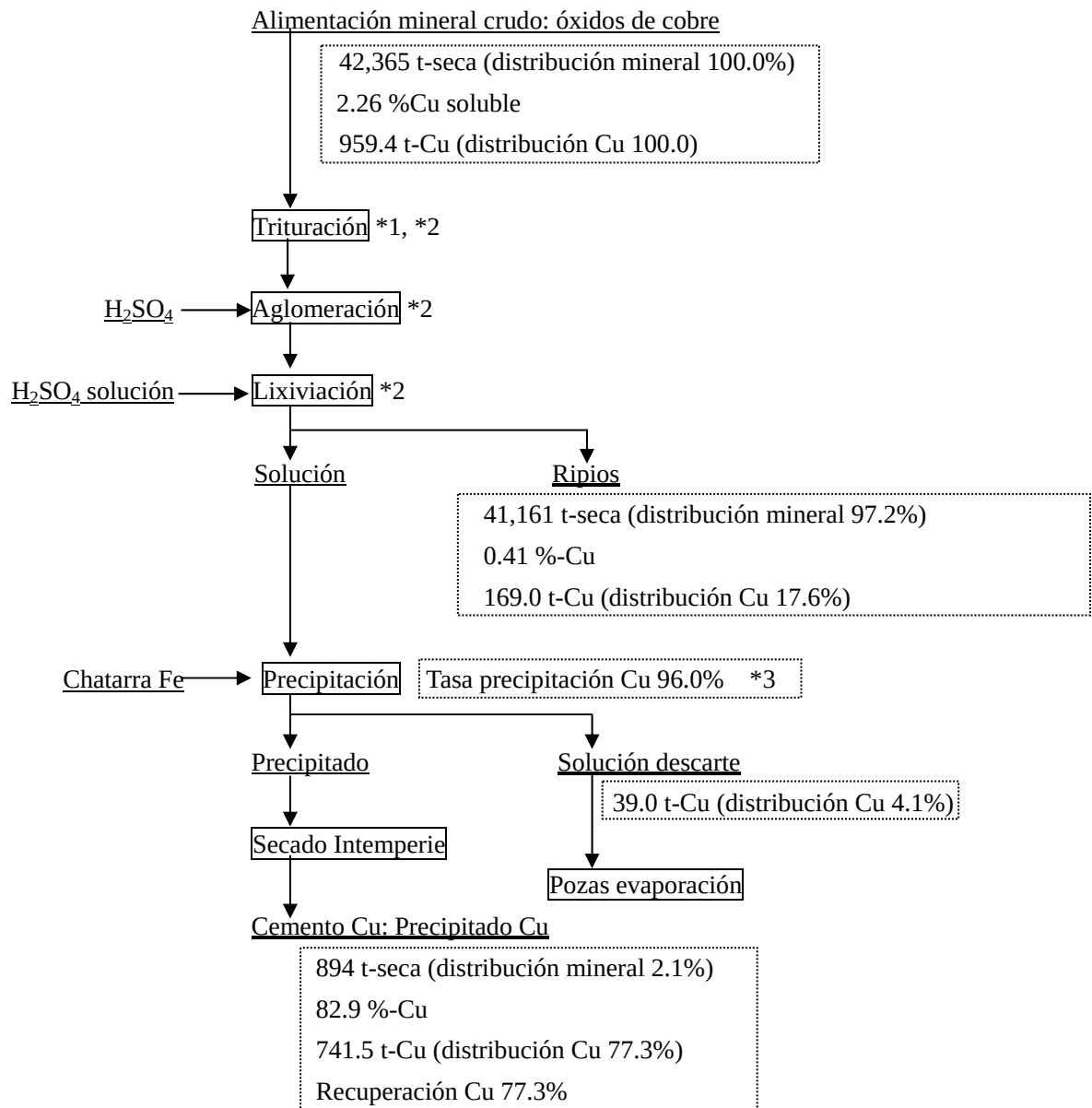


Figura 3-2 Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Oxidos de Cobre 2000

Planta Ovalle, ENAMI

Nota *1: Se determina las condiciones de compra, para cada lote mediante pesado, muestreo y análisis.

*2: Pérdidas en Trituración, Aglomeración y Lixiviación

424 t-seca (distribución mineral 1.0%)

2.24 %-Cu

9.5 t-Cu (distribución Cu 1.0%)

*3: Pérdida en Precipitación

0.5 t-Cu (distribución Cu 0.1%)

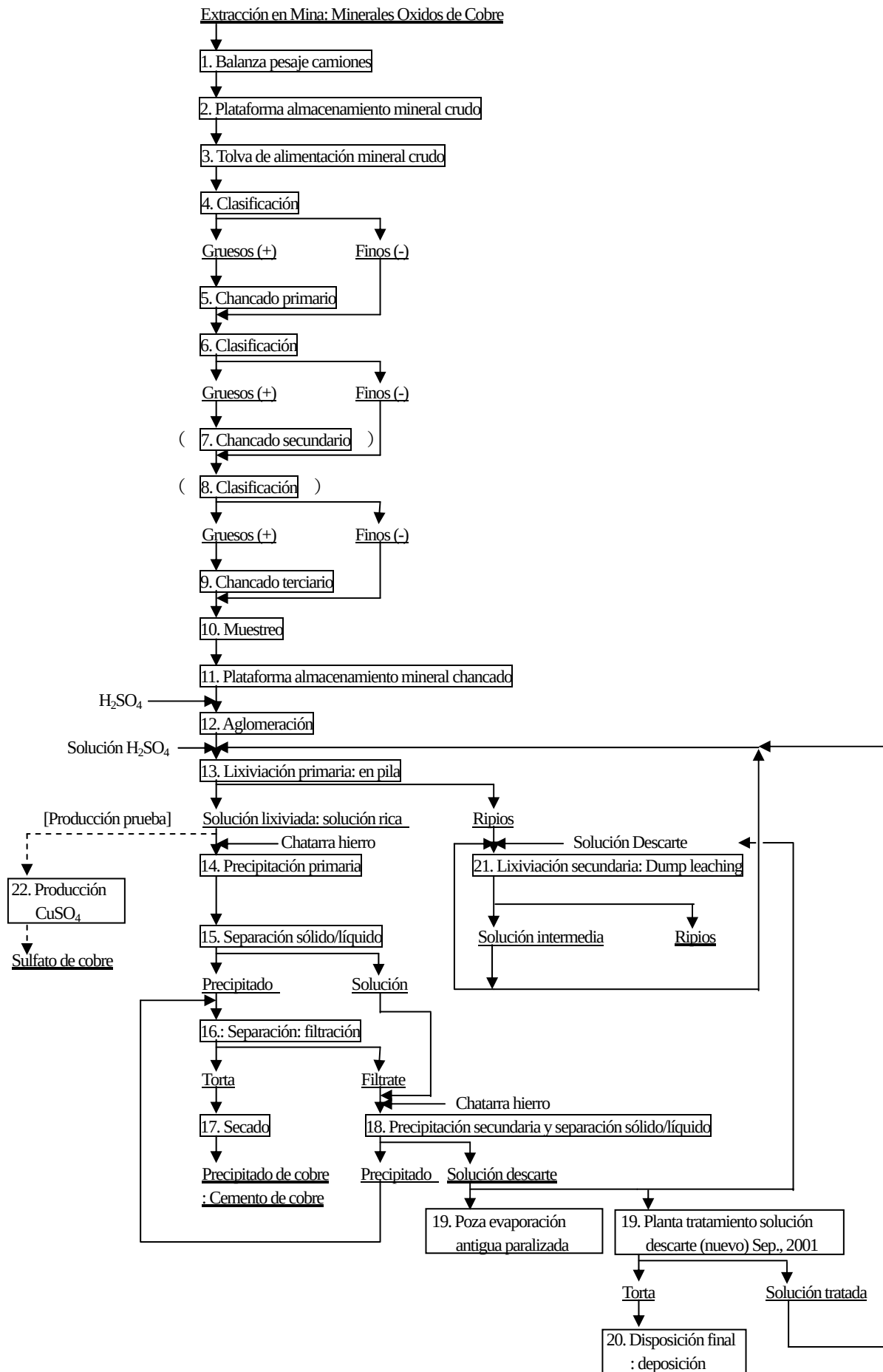


Figura 3-3 Diagrama de Bloque: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cu: Planta Ovalle, ENAMI

(Figura 3-3) Equipos para Procesamiento de Minerales Oxidos: Planta Ovalle, ENAMI

No.	Proceso	Equipamiento y especificación	Observaciones
1	Pesaje	Balanza para pesaje de camiones	Cada lote de mineral
2	Almacenamiento mineral crudo		Tamaño de partícula: -7"
3	Almacenamiento gruesos	Tolva de gruesos	Cada lote de mineral
4	Clasificación	Zaranda fija, mandíbula (apertura 2-1/2"), 1 unidad	
5	Chancado primario	Chancadora giratoria: Trylor, TY-1398F tipo, 3' ϕ , 50t/h, 1 unidad (circuito stand-by: Single Toggle Crusher, 1 unidad)	
6	Clasificación	Malla vibratoria (apertura 3/4"), 1 unidad	
7	Chancado secundario	Chancadora cónica: Symons, SH tipo, 3' ϕ , 50t/h, 1 unidad	
8	Clasificación	Malla vibratoria (apertura 1/4"), 1 unidad	
9	Chancadora terciaria	Chancadora cónica: Symons, SH tipo, 3' ϕ , 50t/h, 1 unidad	
10	Muestreo	Muestreador automático $\rightarrow$ análisis	Cada lote de mineral
11	Almacenamiento mineral chancado		
12	Aglomeración	Aglomerador rotatorio: 7m $\phi \times$ 5.4mL, cobertura de caucho, 1 unidad	Precurado, lixiviación Tamaño partícula: -3/8"
13	Lixiviación primaria: en pilas	Pila: 40mW $\times$ 90mL $\times$ 2~2.2mH, 1 unidad +40mW $\times$ 40mL $\times$ 2~2.2mH, 1 unidad	20~25 días/ciclo
14	Precipitación primaria	Precipitador rotatorio: tipo tambor, 120" $\phi \times$ 130"L, 1 unidad + 84" $\phi \times$ 96"L, 3 unidades	
15	Separación sólido/líquido	Decantador, 1 unidad	
16	Separación sólido/líquido : Filtración	Pan filter: de vacío, 1mW $\times$ 1.5mL, 2 unidades	
17	Secado	A intemperie	
18	Precipitación secundaria y Separación sólido/líquido	Pozas de precipitación, 1 unidad (6 pozas)	
19	[Nuevo] Tratamiento de solución de descarte	Planta modelo de tratamiento de solución de descarte: 100m ³ /día, 1 unidad	[Antes] Pozas de evaporación
20	Disposición final		
21	Lixiviación secundaria : Dump leaching	Dump leaching pad: 110mW $\times$ 60mL $\times$ Max.35mH, 1 unidad	
22	Producción de sulfato de cobre	Planta piloto de producción de sulfato de cobre: 40t/mes, 1 unidad	

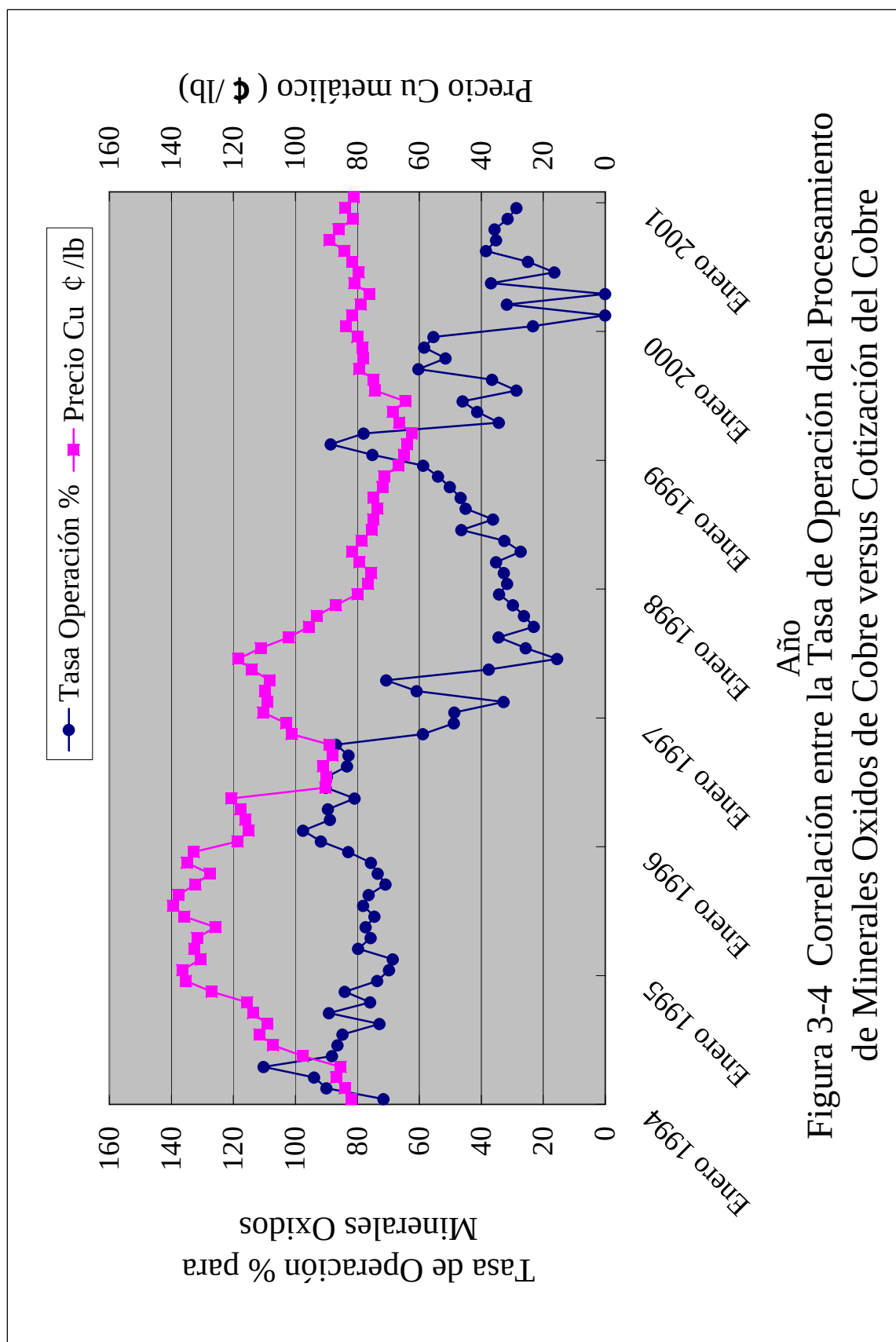


Figura 3-4 Correlación entre la Tasa de Operación del Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre versus Cotización del Cobre

Cuadro 3-4 Comparación entre Métodos de Procesamiento de Minerales de Cobre

1. Minerales materia de procesamiento: Principales minerales	Oxidos de Cobre		Sulfuros de Cobre
	Chisocola $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, Malaquita $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, etc. Nota: Es posible lixiviar sulfuros secundarios como: Calcocita, Covellita con uso de bacteria.		Calcopirita CuFeS_2 , Calcocita Cu_2S , Covellita CuS , etc.
2. Método de producción	Proceso de cementación	SX/EW (Extracción por solventes / electrodeposición)	Refinación de concentrado de cobre
3. Flujo de Producción	Extracción ↓ Alimentación mineral crudo ↓ Chancado Aglomeración Lixiviación Precipitación ↓ Precipitado de cobre ↓ Cu: aprox. 80~87% Fundición Conversión Electrólisis ↓ Cobre electrolítico : Cátodo de cobre Cu $\geq 99.97\%$ } Piro-metalurgia	Extracción ↓ Alimentación mineral crudo ↓ Chancado Aglomeración Lixiviación Extracción solvente Electrodeposición ↓ Cobre electrolítico : Cátodo de cobre Cu $\geq 99.97\%$ } Hidro-metalurgia	Extracción ↓ Alimentación mineral crudo ↓ Chancado Molienda Flotación ↓ Concentrado de cobre ↓ Cu: aprox. 27~40% Fundición Conversión Electrólisis ↓ Cobre electrolítico : Cátodo de cobre Cu $\geq 99.97\%$ } Piro-metalurgia
4. Viabilidad recuperación Au, Ag	×	×	○
5. Costos directos *1			
5-1 Extracción			
• Rajo abierto (A)	¢ /lb		Promedio 9~36, aprox. 25
	\$/t	○	Promedio 0.7~1.9, aprox. 1
• Subterránea (B)	¢ /lb	○	Promedio 11~53, aprox. 40
	\$/t		Promedio 1.4~30, aprox. 12
5-2 Procesamiento Mineral			
• Mineral de (A)	¢ /lb	○ : Chanc., Aglomer, Lixiv.	Promedio 9~34, aprox. 24
	\$/t		Promedio 0.5~1.8, aprox. 1
• Mineral de (B)	¢ /lb	○: Chancado, Aglomeración, Lixiviación, Precipitación	Promedio 6~27, aprox. 14
	\$/t		Promedio 2~15, aprox. 5
5-3 Transporte	¢ /lb	○: Precipitado cobre	Prom 0.5~8, aprox 3: conc Cu
5-4 Refinación			
• Pirometalurgia	¢ /lb	○	Promedio 8~32, aprox. 19
• Hidrometalurgia	¢ /lb	○	
5-5 Sub-producto	¢ /lb		Promedio -1~-130, aprox. -22
(Au, Ag, Mo)			
Total Costo Directo			
• Mineral de (A)	¢ /lb	Promedio 25~60, aprox. 40	Promedio aprox. 50
• Mineral de (B)	¢ /lb	Supuesto 70~80	Promedio aprox. 65
6. Escala aplicación	Pequeña a mediana *2	Grande	Pequeña a grande

Nota *1: Compuesto por costo directo, intereses, depreciación, etc., *2: En caso de escala pequeña, no es posible asumir la inversión de una planta de SX-EW.

Cuadro 3-5 Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1994 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (14,000t/month: 168,000t/year)

Año	Proceso	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			
				t	distrib. %	Tasa*1 %	lev %	t	distrib. %	tasa lix. %
1994	Trituración Aglomeración	Alimentación	A → B, C, D	Enero	10,017	100.0	71.6	2.1	207.5	100.0
				Febrero	12,593	100.0	90.0	2.0	256.4	100.0
				Marzo	13,145	100.0	93.9	2.1	278.3	100.0
				Abril	15,425	100.0	110.2	2.1	329.9	100.0
				Mayo	12,346	100.0	88.2	2.1	262.4	100.0
				Junio	12,094	100.0	86.4	2.1	253.5	100.0
				Julio	11,867	100.0	84.8	2.1	249.9	100.0
				Agosto	10,191	100.0	72.8	2.1	215.9	100.0
				Septiembre	12,478	100.0	89.1	2.1	262.4	100.0
				Octubre	10,615	100.0	75.8	2.2	230.0	100.0
				Noviembre	11,766	100.0	84.0	2.1	248.9	100.0
				Diciembre	10,294	100.0	73.5	2.3	237.5	100.0
				Total	142,831	100.0	85.0	2.1	3,033	100.0
	Trituración Aglomeración Lixiviación	Pérdida 1 : distrib. Crudo = 1.0%	B	Enero	100	1.0		2.2	2.2	1.1
				Febrero	126	1.0		1.6	2.1	0.8
				Marzo	131	1.0		1.9	2.5	0.9
				Abril	154	1.0		2.0	3.1	0.9
				Mayo	123	1.0		1.7	2.1	0.8
				Junio	121	1.0		1.7	2.1	0.8
				Julio	119	1.0		1.7	2.0	0.8
				Agosto	102	1.0		2.0	2.1	1.0
				Septiembre	125	1.0		2.4	3.0	1.1
				Octubre	106	1.0		1.9	2.0	0.9
				Noviembre	118	1.0		1.7	2.0	0.8
				Diciembre	103	1.0		2.0	2.0	0.9
				Total	1,428	1.0		1.9	27	0.9
	Lixiviación	Solución	C → E, F, G	Enero		0.0			116.8	56.3
				Febrero		0.0			104.7	40.8
				Marzo		0.0			126.6	45.5
				Abril		0.0			173.4	52.6
				Mayo		0.0			251.3	95.8
				Junio		0.0			59.5	23.5
				Julio		0.0			191.8	76.7
				Agosto		0.0			144.4	66.9
				Septiembre		0.0			138.0	52.6
				Octubre		0.0			178.4	77.6
				Noviembre		0.0			158.9	63.8
				Diciembre		0.0			169.0	71.2
				Total		0.0			1,813	59.8
		Ripios	D	Enero	9,800	97.8		0.9	88.5	42.6
				Febrero	12,362	98.2		1.2	149.6	58.4
				Marzo	12,887	98.0		1.2	149.3	53.6
				Abril	15,097	97.9		1.0	153.4	46.5
				Mayo	11,972	97.0		0.1	9.0	3.4
				Junio	11,913	98.5		1.6	191.9	75.7
				Julio	11,557	97.4		0.5	56.1	22.4
				Agosto	9,944	97.6		0.7	69.4	32.2
				Septiembre	12,215	97.9		1.0	121.5	46.3
				Octubre	10,330	97.3		0.5	49.6	21.6
				Noviembre	11,489	97.6		0.8	88.0	35.4
				Diciembre	10,022	97.4		0.7	66.4	28.0
				Total	139,589	97.7		0.9	1,193	39.3
	Precipitación	Pérdida 2 : distrib. Cu = 0.05%	E	Enero		0.0			0.1	0.0
				Febrero		0.0			0.1	0.0
				Marzo		0.0			0.1	0.0
				Abril		0.0			0.2	0.0
				Mayo		0.0			0.1	0.0
				Junio		0.0			0.1	0.0
				Julio		0.0			0.1	0.0
				Agosto		0.0			0.1	0.0
				Septiembre		0.0			0.1	0.0
				Octubre		0.0			0.1	0.0
				Noviembre		0.0			0.1	0.0
				Diciembre		0.0			0.1	0.0
				Total		0.0			2	0.0
		Precipitado Cu	F	Enero	150	1.5		74.0	111.0	53.5
				Febrero	163	1.3		61.1	99.5	38.8
				Marzo	165	1.3		72.9	120.3	43.2
				Abril	216	1.4		76.4	164.7	49.9
				Mayo	315	2.6		75.7	238.7	91.0
				Junio	71	0.6		79.2	56.6	22.3
				Julio	239	2.0		76.2	182.2	72.9
				Agosto	181	1.8		76.0	137.2	63.5
				Septiembre	163	1.3		80.4	131.1	49.9
				Octubre	224	2.1		75.5	169.5	73.7
				Noviembre	183	1.6		82.7	151.0	60.6
				Diciembre	208	2.0		77.0	160.5	67.6
				Total	2,278	1.6		75.6	1,722	56.8
		Solución descarte	G	Enero		0.0			5.7	2.8
				Febrero		0.0			5.1	2.0
				Marzo		0.0			6.2	2.2
				Abril		0.0			8.5	2.6
				Mayo		0.0			12.4	4.7
				Junio		0.0			2.9	1.1
				Julio		0.0			9.5	3.8
				Agosto		0.0			7.1	3.3
				Septiembre		0.0			6.8	2.6
				Octubre		0.0			8.8	3.8
				Noviembre		0.0			7.8	3.1
				Diciembre		0.0			8.3	3.5
				Total		0.0			89	2.9

Cuadro 3-6 Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1995 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (14,000t/month: 168,000t/year)

Año	Proceso	Producto		Mes	Tratamiento crudo t				Cu			
					t	distrib.%	Tasa*1 %	lev %	t	distrib.%	tasa lix. %	tasa ppción %
1995	Trituración Aglomeración	Alimentación	A → B, C, D	Enero	9.764	100.0	69.7	2.3	225.5	100.0		
Febrero				9.592	100.0	68.5	2.2	208.0	100.0			
Marzo				11.165	100.0	79.7	2.2	249.6	100.0			
Abril				10.598	100.0	75.7	2.2	228.4	100.0			
Mayo				10.823	100.0	77.3	2.2	237.1	100.0			
Junio				10.420	100.0	74.4	2.2	230.2	100.0			
Julio				10.928	100.0	78.1	2.2	240.2	100.0			
Agosto				10.686	100.0	76.3	2.2	239.7	100.0			
Septiembre				9.925	100.0	70.9	2.3	223.1	100.0			
Octubre				10.278	100.0	73.4	2.3	234.7	100.0			
Noviembre				10.579	100.0	75.6	2.3	240.4	100.0			
Diciembre				11.598	100.0	82.8	2.2	256.8	100.0			
Total				126.356	100.0	75.2	2.2	2.814	100.0			
Trituración Aglomeración Lixiviación	Pérdida 1 : distrib. Crudo = 1.0%	B	Enero	98	1.0		2.2	2.2	1.0			
			Febrero	96	1.0		2.0	1.9	0.9			
			Marzo	112	1.0		1.8	2.0	0.8			
			Abril	106	1.0		1.7	1.8	0.8			
			Mayo	108	1.0		2.3	2.5	1.0			
			Junio	104	1.0		2.2	2.2	1.0			
			Julio	109	1.0		2.0	2.2	0.9			
			Agosto	107	1.0		2.5	2.7	1.1			
			Septiembre	99	1.0		2.1	2.1	0.9			
			Octubre	103	1.0		2.6	2.7	1.2			
			Noviembre	106	1.0		2.5	2.6	1.1			
			Diciembre	116	1.0		2.6	3.0	1.2			
			Total	1.264	1.0		2.2	28	1.0			
Lixiviación	Solución	C → E, F, G	Enero		0.0			201.2	89.3	90.1		
			Febrero		0.0			180.3	86.7	87.5		
			Marzo		0.0			215.1	86.2	86.9		
			Abril		0.0			188.5	82.5	83.2		
			Mayo		0.0			205.1	86.5	87.4		
			Junio		0.0			160.1	69.6	70.2		
			Julio		0.0			190.7	79.4	80.1		
			Agosto		0.0			177.8	74.2	75.0		
			Septiembre		0.0			150.5	67.4	68.1		
			Octubre		0.0			204.8	87.2	88.3		
			Noviembre		0.0			183.2	76.2	77.1		
			Diciembre		0.0			214.1	83.4	84.4		
			Total		0.0			2.271	80.7	81.5		
	Ripios	D	Enero	9.465	96.9		0.2	22.1	9.8			
			Febrero	9.316	97.1		0.3	25.8	12.4			
			Marzo	10.838	97.1		0.3	32.5	13.0			
			Abril	10.303	97.2		0.4	38.1	16.7			
			Mayo	10.510	97.1		0.3	29.6	12.5			
			Junio	10.155	97.5		0.7	67.8	29.5			
			Julio	10.628	97.3		0.5	47.3	19.7			
			Agosto	10.401	97.3		0.6	59.2	24.7			
			Septiembre	9.675	97.5		0.7	70.6	31.6			
			Octubre	9.970	97.0		0.3	27.2	11.6			
			Noviembre	10.290	97.3		0.5	54.5	22.7			
			Diciembre	11.268	97.2		0.4	39.7	15.5			
			Total	122.821	97.2		0.4	515	18.3			
Precipitación	Pérdida 2 : distrib. Cu = 0.05%	E	Enero		0.0			0.1	0.0			
			Febrero		0.0			0.1	0.0			
			Marzo		0.0			0.1	0.0			
			Abril		0.0			0.1	0.0			
			Mayo		0.0			0.1	0.0			
			Junio		0.0			0.1	0.0			
			Julio		0.0			0.1	0.0			
			Agosto		0.0			0.1	0.0			
			Septiembre		0.0			0.1	0.0			
			Octubre		0.0			0.1	0.0			
			Noviembre		0.0			0.1	0.0			
			Diciembre		0.0			0.1	0.0			
			Total		0.0			1	0.0			
	Precipitado Cu	F	Enero	262	2.7		73.0	191.2	84.8		95.0	
			Febrero	225	2.3		76.0	171.2	82.3		94.9	
			Marzo	277	2.5		73.6	204.3	81.8		94.9	
			Abril	242	2.3		74.1	178.9	78.3		94.9	
			Mayo	258	2.4		75.5	194.7	82.1		94.9	
			Junio	190	1.8		80.1	152.0	66.0		94.9	
			Julio	214	2.0		84.8	181.0	75.4		94.9	
			Agosto	243	2.3		69.4	168.8	70.4		94.9	
			Septiembre	177	1.8		80.8	142.9	64.0		94.9	
			Octubre	272	2.6		71.5	194.4	82.8		94.9	
			Noviembre	229	2.2		76.0	173.9	72.4		94.9	
			Diciembre	275	2.4		73.8	203.2	79.1		94.9	
			Total	2.863	2.3		75.3	2.156	76.6		94.9	
	Solución descarte	G	Enero		0.0			9.9	4.4			
			Febrero		0.0			9.0	4.3			
			Marzo		0.0			10.8	4.3			
			Abril		0.0			9.4	4.1			
			Mayo		0.0			10.2	4.3			
			Junio		0.0			8.0	3.5			
			Julio		0.0			9.5	4.0			
			Agosto		0.0			8.9	3.7			
			Septiembre		0.0			7.5	3.4			
			Octubre		0.0			10.2	4.4			
			Noviembre		0.0			9.2	3.8			
			Diciembre		0.0			10.7	4.2			
			Total		0.0			113	4.0			

Cuadro 3-7 Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1996 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (14,000t/month: 168,000t/year)

Año	Proceso	Producto		Mes	Tratamiento crudo t				Cu			
					t	distrib. %	Tasa*1 %	lev %	t	distrib. %	tasa lix. %	tasa ppción %
1996	Trituración Aglomeración	Alimentación	A → B, C, D	Enero	12.843	100.0	91.7	2.2	281.5	100.0		
Febrero				13.644	100.0	97.5	2.3	314.1	100.0			
Marzo				12.436	100.0	88.8	2.3	285.6	100.0			
Abril				12.517	100.0	89.4	2.3	292.7	100.0			
Mayo				11.322	100.0	80.9	2.2	251.1	100.0			
Junio				12.626	100.0	90.2	2.2	273.8	100.0			
Julio				12.568	100.0	89.8	2.1	265.6	100.0			
Agosto				11.662	100.0	83.3	2.3	262.0	100.0			
Septiembre				11.596	100.0	82.8	2.2	253.3	100.0			
Octubre				12.164	100.0	86.9	2.2	261.6	100.0			
Noviembre				8.232	100.0	58.8	2.2	181.8	100.0			
Diciembre				6.837	100.0	48.8	2.0	134.4	100.0			
Total				138.449	100.0	82.4	2.2	3.058	100.0			
Trituración Aglomeración Lixiviación	Pérdida 1 : distrib. Crudo = 1.0%	B	Enero	128	1.0		2.4	3.0	1.1			
			Febrero	136	1.0		2.5	3.4	1.1			
			Marzo	124	1.0		2.0	2.5	0.9			
			Abril	125	1.0		2.2	2.7	0.9			
			Mayo	113	1.0		2.0	2.3	0.9			
			Junio	126	1.0		2.0	2.6	0.9			
			Julio	126	1.0		2.4	3.0	1.1			
			Agosto	117	1.0		1.9	2.2	0.9			
			Septiembre	116	1.0		2.6	3.0	1.2			
			Octubre	122	1.0		2.2	2.7	1.0			
			Noviembre	82	1.0		2.1	1.7	0.9			
			Diciembre	68	1.0		1.6	1.1	0.8			
			Total	1.384	1.0		2.2	30	1.0			
Lixiviación	Solución	C → E, F, G	Enero		0.0			223.0	79.2	80.1		
			Febrero		0.0			242.0	77.1	77.9		
			Marzo		0.0			238.3	83.4	84.1		
			Abril		0.0			221.4	75.6	76.4		
			Mayo		0.0			179.7	71.6	72.2		
			Junio		0.0			217.7	79.5	80.3		
			Julio		0.0			203.7	76.7	77.6		
			Agosto		0.0			205.0	78.2	78.9		
			Septiembre		0.0			197.3	77.9	78.9		
			Octubre		0.0			205.2	78.4	79.3		
			Noviembre		0.0			140.0	77.0	77.8		
			Diciembre		0.0			108.0	80.4	81.0		
			Total		0.0			2.381	77.9	78.7		
	Ripios	D	Enero	12.492	97.3		0.4	55.5	19.7			
			Febrero	13.266	97.2		0.5	68.7	21.9			
			Marzo	12.073	97.1		0.4	44.9	15.7			
			Abril	12.171	97.2		0.6	68.5	23.4			
			Mayo	11.029	97.4		0.6	69.1	27.5			
			Junio	12.282	97.3		0.4	53.5	19.5			
			Julio	12.239	97.4		0.5	58.8	22.1			
			Agosto	11.341	97.2		0.5	54.8	20.9			
			Septiembre	11.283	97.3		0.5	52.9	20.9			
			Octubre	11.838	97.3		0.5	53.7	20.5			
			Noviembre	8.009	97.3		0.5	40.0	22.0			
			Diciembre	6.661	97.4		0.4	25.3	18.8			
			Total	134.683	97.3		0.5	646	21.1			
Precipitación	Pérdida 2 : distrib. Cu = 0.05%	E	Enero		0.0			0.1	0.0			
			Febrero		0.0			0.2	0.0			
			Marzo		0.0			0.1	0.0			
			Abril		0.0			0.1	0.0			
			Mayo		0.0			0.1	0.0			
			Junio		0.0			0.1	0.0			
			Julio		0.0			0.1	0.0			
			Agosto		0.0			0.1	0.0			
			Septiembre		0.0			0.1	0.0			
			Octubre		0.0			0.1	0.0			
			Noviembre		0.0			0.0	0.0			
			Diciembre		0.0			0.1	0.0			
			Total		0.0			1	0.0			
	Precipitado Cu	F	Enero	265	2.1		80.0	211.8	75.2		95.0	
			Febrero	294	2.2		78.1	229.8	73.2		94.9	
			Marzo	286	2.3		79.0	226.2	79.2		94.9	
			Abril	272	2.2		77.2	210.2	71.8		94.9	
			Mayo	227	2.0		75.0	170.6	67.9		94.9	
			Junio	254	2.0		81.3	206.7	75.5		94.9	
			Julio	257	2.0		75.3	193.4	72.8		94.9	
			Agosto	249	2.1		78.2	194.6	74.3		94.9	
			Septiembre	256	2.2		73.1	187.4	74.0		94.9	
			Octubre	257	2.1		75.7	194.8	74.5		94.9	
			Noviembre	169	2.1		78.8	133.0	73.2		95.0	
			Diciembre	119	1.7		86.1	102.6	76.3		94.9	
			Total	2.907	2.1		77.8	2.261	74.0		94.9	
Solución descarte	G	Enero		0.0			11.0	3.9				
		Febrero		0.0			12.1	3.9				
		Marzo		0.0			11.9	4.2				
		Abril		0.0			11.1	3.8				
		Mayo		0.0			9.0	3.6				
		Junio		0.0			10.9	4.0				
		Julio		0.0			10.2	3.8				
		Agosto		0.0			10.2	3.9				
		Septiembre		0.0			9.9	3.9				
		Octubre		0.0			10.3	3.9				
		Noviembre		0.0			7.0	3.9				
		Diciembre		0.0			5.4	4.0				
		Total		0.0			119	3.9				

Cuadro 3-8 Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1997 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (14,000t/month: 168,000t/year)

Año	Proceso	Producto		Mes	Tratamiento crudo t							
					t	distrib.%	Tasa*1 %	lev %	t	distrib.%	tasa lix. %	tasa ppción %
1997	Trituración Aglomeración	Alimentación	A → B, C, D	Enero	6.808	100.0	48.6	1.9	128.6	100.0		
Febrero				4.584	100.0	32.7	2.1	96.5	100.0			
Marzo				8.512	100.0	60.8	1.9	160.2	100.0			
Abril				9.888	100.0	70.6	1.4	141.6	100.0			
Mayo				5.251	100.0	37.5	2.1	110.6	100.0			
Junio				2.170	100.0	15.5	2.5	53.2	100.0			
Julio				3.585	100.0	25.6	2.2	78.8	100.0			
Agosto				4.819	100.0	34.4	2.3	109.4	100.0			
Septiembre				3.220	100.0	23.0	2.2	72.1	100.0			
Octubre				3.669	100.0	26.2	2.1	78.5	100.0			
Noviembre				4.170	100.0	29.8	2.2	90.3	100.0			
Diciembre				4.793	100.0	34.2	2.1	100.1	100.0			
Total				61.468	100.0	36.6	2.0	1.220	100.0			
Trituración Aglomeración Lixiviación	Pérdida 1 : distrib. Crudo = 1.0%	B	Enero	68	1.0		1.8	1.2	1.0			
			Febrero	46	1.0		2.6	1.2	1.2			
			Marzo	85	1.0		2.0	1.7	1.1			
			Abril	99	1.0		1.7	1.6	1.2			
			Mayo	53	1.0		1.8	0.9	0.8			
			Junio	22	1.0		2.6	0.6	1.1			
			Julio	36	1.0		2.1	0.7	0.9			
			Agosto	48	1.0		2.2	1.1	1.0			
			Septiembre	32	1.0		2.1	0.7	0.9			
			Octubre	37	1.0		2.0	0.7	0.9			
			Noviembre	42	1.0		1.8	0.8	0.8			
			Diciembre	48	1.0		1.9	0.9	0.9			
			Total	615	1.0		2.0	12	1.0			
Lixiviación	Solución	C → E, F, G	Enero		0.0			99.5	77.4	78.1		
			Febrero		0.0			75.7	78.4	79.4		
			Marzo		0.0			126.4	78.9	79.8		
			Abril		0.0			111.8	79.0	79.9		
			Mayo		0.0			87.3	78.9	79.6		
			Junio		0.0			42.0	78.9	79.8		
			Julio		0.0			62.1	78.8	79.5		
			Agosto		0.0			85.8	78.4	79.2		
			Septiembre		0.0			58.8	81.6	82.4		
			Octubre		0.0			61.6	78.5	79.3		
			Noviembre		0.0			71.0	78.6	79.3		
			Diciembre		0.0			78.5	78.4	79.1		
			Total		0.0			960	78.7	79.5		
	Ripios	D	Enero	6.640	97.5		0.4	27.9	21.7			
			Febrero	4.462	97.3		0.4	19.6	20.3			
			Marzo	8.301	97.5		0.4	32.0	20.0			
			Abril	9.677	97.9		0.3	28.2	19.9			
			Mayo	5.111	97.3		0.4	22.4	20.2			
			Junio	2.106	97.1		0.5	10.6	20.0			
			Julio	3.487	97.3		0.5	16.0	20.3			
			Agosto	4.685	97.2		0.5	22.6	20.6			
			Septiembre	3.129	97.2		0.4	12.6	17.5			
			Octubre	3.571	97.3		0.5	16.1	20.5			
			Noviembre	4.057	97.3		0.5	18.6	20.5			
			Diciembre	4.667	97.4		0.4	20.7	20.7			
			Total	59.893	97.4		0.4	247	20.3			
Precipitación	Pérdida 2 : distrib. Cu = 0.05%	E	Enero		0.0			0.1	0.0			
			Febrero		0.0			0.0	0.0			
			Marzo		0.0			0.1	0.0			
			Abril		0.0			0.1	0.0			
			Mayo		0.0			0.1	0.0			
			Junio		0.0			0.0	0.0			
			Julio		0.0			0.0	0.0			
			Agosto		0.0			0.1	0.0			
			Septiembre		0.0			0.0	0.0			
			Octubre		0.0			0.0	0.0			
			Noviembre		0.0			0.0	0.0			
			Diciembre		0.0			0.1	0.0			
			Total		0.0			1	0.0			
	Precipitado Cu	F	Enero	126	1.8		75.2	94.5	73.5		95.0	
			Febrero	86	1.9		83.4	71.9	74.5		94.9	
			Marzo	156	1.8		76.9	120.0	74.9		94.9	
			Abril	138	1.4		76.7	106.2	75.0		94.9	
			Mayo	108	2.1		77.0	82.9	74.9		94.9	
			Junio	51	2.4		77.6	39.9	74.9		94.9	
			Julio	77	2.1		77.0	58.9	74.8		94.9	
			Agosto	105	2.2		77.7	81.4	74.4		94.9	
			Septiembre	71	2.2		78.4	55.8	77.5		94.9	
			Octubre	74	2.0		79.0	58.5	74.6		94.9	
			Noviembre	80	1.9		83.9	67.4	74.6		94.9	
			Diciembre	94	2.0		79.6	74.5	74.5		94.9	
			Total	1.166	1.9		78.2	912	74.8		94.9	
	Solución descarte	G	Enero		0.0			4.9	3.8			
			Febrero		0.0			3.8	3.9			
			Marzo		0.0			6.3	3.9			
			Abril		0.0			5.6	3.9			
			Mayo		0.0			4.4	3.9			
			Junio		0.0			2.1	3.9			
			Julio		0.0			3.1	3.9			
			Agosto		0.0			4.3	3.9			
			Septiembre		0.0			2.9	4.1			
			Octubre		0.0			3.1	3.9			
			Noviembre		0.0			3.5	3.9			
			Diciembre		0.0			3.9	3.9			
			Total		0.0			48	3.9			

Cuadro 3-9 Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1998 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (14,000t/month: 168,000t/year)

Año	Proceso	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			
				t	distrib. %	Tasa*1 %	lev %	t	distrib. %	tasa lix. %
1998	Trituración Aglomeración	Alimentación	A → B, C, D	Enero	4.425	100.0	31.6	2.0	88.1	100.0
				Febrero	4.580	100.0	32.7	1.7	79.7	100.0
				Marzo	4.927	100.0	35.2	2.0	100.2	100.0
				Abril	3.812	100.0	27.2	1.9	71.0	100.0
				Mayo	4.555	100.0	32.5	1.8	80.7	100.0
				Junio	6.495	100.0	46.4	1.7	109.7	100.0
				Julio	5.062	100.0	36.2	2.1	105.6	100.0
				Agosto	6.306	100.0	45.0	2.0	124.8	100.0
				Septiembre	6.525	100.0	46.6	1.9	124.5	100.0
				Octubre	7.011	100.0	50.1	1.7	122.3	100.0
				Noviembre	7.550	100.0	53.9	1.9	145.2	100.0
				Diciembre	8.216	100.0	58.7	2.1	175.2	100.0
				Total	69.465	100.0	41.3	1.9	1.327	100.0
	Trituración Aglomeración Lixiviación	Pérdida 1 : distrib. Crudo = 1.0%	B	Enero	44	1.0		2.1	0.9	1.0
				Febrero	46	1.0		1.7	0.8	1.0
				Marzo	49	1.0		2.5	1.2	1.2
				Abril	38	1.0		2.1	0.8	1.1
				Mayo	46	1.0		2.0	0.9	1.1
				Junio	65	1.0		1.6	1.1	1.0
				Julio	51	1.0		1.8	0.9	0.8
				Agosto	63	1.0		1.9	1.2	0.9
				Septiembre	65	1.0		1.8	1.1	0.9
				Octubre	70	1.0		2.1	1.5	1.2
				Noviembre	75	1.0		2.3	1.7	1.2
				Diciembre	82	1.0		2.4	2.0	1.1
				Total	695	1.0		2.0	14	1.1
	Lixiviación	Solución	C → E, F, G	Enero		0.0		73.7	83.7	84.5
				Febrero		0.0		65.2	81.8	82.6
				Marzo		0.0		80.7	80.6	81.6
				Abril		0.0		62.7	88.3	89.3
				Mayo		0.0		66.1	81.8	82.8
				Junio		0.0		88.5	80.6	81.4
				Julio		0.0		91.2	86.3	87.0
				Agosto		0.0		102.3	82.0	82.8
				Septiembre		0.0		79.8	64.1	64.7
				Octubre		0.0		61.7	50.5	51.1
				Noviembre		0.0		82.0	56.4	57.1
				Diciembre		0.0		124.8	71.2	72.1
				Total		0.0		979	73.7	74.5
		Ripios	D	Enero	4.307	97.3		0.3	13.5	15.3
				Febrero	4.469	97.6		0.3	13.7	17.2
				Marzo	4.797	97.4		0.4	18.3	18.2
				Abril	3.711	97.4		0.2	7.5	10.6
				Mayo	4.443	97.5		0.3	13.8	17.0
				Junio	6.342	97.6		0.3	20.2	18.4
				Julio	4.921	97.2		0.3	13.6	12.9
				Agosto	6.141	97.4		0.4	21.3	17.1
				Septiembre	6.380	97.8		0.7	43.6	35.0
				Octubre	6.879	98.1		0.9	59.1	48.3
				Noviembre	7.392	97.9		0.8	61.6	42.4
				Diciembre	8.009	97.5		0.6	48.4	27.6
				Total	67.791	97.6		0.5	334	25.2
	Precipitación	Pérdida 2 : distrib. Cu = 0.05%	E	Enero		0.0		0.0	0.0	
				Febrero		0.0		0.0	0.0	
				Marzo		0.0		0.1	0.0	
				Abril		0.0		0.0	0.0	
				Mayo		0.0		0.0	0.0	
				Junio		0.0		0.1	0.0	
				Julio		0.0		0.1	0.0	
				Agosto		0.0		0.1	0.0	
				Septiembre		0.0		0.1	0.0	
				Octubre		0.0		0.1	0.0	
				Noviembre		0.0		0.1	0.0	
				Diciembre		0.0		0.1	0.0	
				Total		0.0		1	0.0	
		Precipitado Cu	F	Enero	90	2.0		77.8	70.0	95.0
				Febrero	75	1.6		82.4	61.9	95.0
				Marzo	97	2.0		78.8	76.7	95.0
				Abril	73	1.9		81.3	59.6	95.0
				Mayo	77	1.7		81.2	62.8	95.0
				Junio	115	1.8		72.8	84.0	95.0
				Julio	110	2.2		78.6	86.6	95.0
				Agosto	125	2.0		78.0	97.2	95.0
				Septiembre	106	1.6		71.3	75.8	95.0
				Octubre	76	1.1		77.3	58.6	95.0
				Noviembre	101	1.3		77.0	77.9	95.0
				Diciembre	156	1.9		76.0	118.6	95.0
				Total	1,203	1.7		77.3	930	70.1
	Solución descarte	G		Enero		0.0		3.6	4.1	
				Febrero		0.0		3.2	4.0	
				Marzo		0.0		4.0	4.0	
				Abril		0.0		3.1	4.4	
				Mayo		0.0		3.3	4.0	
				Junio		0.0		4.4	4.0	
				Julio		0.0		4.5	4.3	
				Agosto		0.0		5.1	4.1	
				Septiembre		0.0		3.9	3.2	
				Octubre		0.0		3.0	2.5	
				Noviembre		0.0		4.0	2.8	
				Diciembre		0.0		6.2	3.5	
				Total		0.0		48	3.6	

Cuadro 3-10 Resultados de Procesamiento de Oxidos en 1999 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (14.000t/month: 168.000t/year)

Año	Proceso	Producto		Mes	Tratamiento crudo t						Cu	
					t	distrib. %	Tasa*1 %	lev %	t	distrib. %	tasa lix. %	tasa ppción %
1999	Trituración Aglomeración	Alimentación	A → B, C, D	Enero	10.508	100.0	75.1	2.0	212.8	100.0		
Febrero				12.400	100.0	88.6	2.0	243.3	100.0			
Marzo				10.907	100.0	77.9	2.1	227.6	100.0			
Abril				4.804	100.0	34.3	2.2	106.3	100.0			
Mayo				5.777	100.0	41.3	2.0	117.3	100.0			
Junio				6.438	100.0	46.0	2.0	127.2	100.0			
Julio				4.006	100.0	28.6	2.8	110.7	100.0			
Agosto				5.115	100.0	36.5	2.4	124.4	100.0			
Septiembre				8.439	100.0	60.3	1.9	160.6	100.0			
Octubre				7.208	100.0	51.5	2.1	149.5	100.0			
Noviembre				8.179	100.0	58.4	1.8	150.5	100.0			
Diciembre				7.758	100.0	55.4	2.0	150.9	100.0			
Total				91.539	100.0	54.5	2.1	1.881	100.0			
Trituración Aglomeración Lixiviación				Pérdida 1 : distrib. Crudo = 1.0%	B	Enero	105	1.0		1.6	1.6	0.8
	Febrero	124	1.0				2.2	2.7	1.1			
	Marzo	109	1.0				1.8	2.0	0.9			
	Abril	48	1.0				2.6	1.2	1.2			
	Mayo	58	1.0				2.0	1.2	1.0			
	Junio	64	1.0				1.6	1.0	0.8			
	Julio	40	1.0				3.0	1.2	1.1			
	Agosto	51	1.0				2.6	1.3	1.1			
	Septiembre	84	1.0				2.2	1.9	1.2			
	Octubre	72	1.0				2.5	1.8	1.2			
	Noviembre	82	1.0				1.9	1.5	1.0			
	Diciembre	78	1.0				1.5	1.2	0.8			
	Total	915	1.0				2.0	19	1.0			
	Lixiviación	Solución	C → E, F, G			Enero		0.0			161.3	75.8
Febrero					0.0			192.6	79.2	80.1		
Marzo					0.0			174.5	76.6	77.3		
Abril					0.0			79.3	74.6	75.5		
Mayo					0.0			88.3	75.3	76.1		
Junio					0.0			106.9	84.0	84.7		
Julio					0.0			90.6	81.8	82.7		
Agosto					0.0			101.8	81.8	82.7		
Septiembre					0.0			130.9	81.5	82.4		
Octubre					0.0			122.0	81.6	82.6		
Noviembre					0.0			122.0	81.0	81.9		
Diciembre					0.0			122.8	81.3	82.0		
Total					0.0			1.493	79.4	80.1		
Ripios				D	Enero	10.242	97.5		0.5	49.9	23.4	
		Febrero	12.083		97.4		0.4	48.0	19.7			
		Marzo	10.623		97.4		0.5	51.2	22.5			
		Abril	4.676		97.3		0.6	25.8	24.3			
		Mayo	5.631		97.5		0.5	27.8	23.7			
		Junio	6.267		97.3		0.3	19.3	15.2			
		Julio	3.876		96.7		0.5	18.9	17.1			
		Agosto	4.962		97.0		0.4	21.3	17.1			
		Septiembre	8.224		97.4		0.3	27.9	17.4			
		Octubre	7.014		97.3		0.4	25.7	17.2			
		Noviembre	7.976		97.5		0.3	27.0	17.9			
		Diciembre	7.558		97.4		0.4	27.0	17.9			
Total		89.131	97.4		0.4	370	19.7					
Precipitación	Pérdida 2 : distrib. Cu = 0.05%	E	Enero		0.0			0.1	0.0			
			Febrero		0.0			0.1	0.0			
			Marzo		0.0			0.1	0.0			
			Abril		0.0			0.1	0.0			
			Mayo		0.0			0.1	0.0			
			Junio		0.0			0.1	0.0			
			Julio		0.0			0.1	0.0			
			Agosto		0.0			0.1	0.0			
			Septiembre		0.0			0.1	0.0			
			Octubre		0.0			0.1	0.0			
			Noviembre		0.0			0.1	0.0			
			Diciembre		0.0			0.1	0.0			
			Total		0.0			1	0.0			
			Precipitado Cu	F	Enero	188	1.8		81.7	153.2	72.0	
	Febrero	235			1.9		77.9	182.9	75.2		94.9	
	Marzo	194			1.8		85.3	165.6	72.8		94.9	
	Abril	95			2.0		78.9	75.3	70.8		94.9	
	Mayo	115			2.0		72.8	83.8	71.5		94.9	
	Junio	125			1.9		81.0	101.5	79.8		94.9	
	Julio	103			2.6		83.7	86.0	77.7		94.9	
	Agosto	124			2.4		78.1	96.6	77.7		94.9	
	Septiembre	144			1.7		86.5	124.2	77.4		94.9	
	Octubre	141			2.0		82.3	115.8	77.4		94.9	
	Noviembre	139			1.7		83.5	115.8	76.9		94.9	
	Diciembre	143			1.8		81.5	116.6	77.2		94.9	
	Total	1.745	1.9		81.2	1.417	75.3		94.9			
Solución descarte	G	Enero		0.0			8.0	3.7				
		Febrero		0.0			9.6	4.0				
		Marzo		0.0			8.7	3.8				
		Abril		0.0			4.0	3.7				
		Mayo		0.0			4.4	3.8				
		Junio		0.0			5.3	4.2				
		Julio		0.0			4.5	4.1				
		Agosto		0.0			5.1	4.1				
		Septiembre		0.0			6.5	4.1				
		Octubre		0.0			6.1	4.1				
		Noviembre		0.0			6.1	4.0				
		Diciembre		0.0			6.1	4.1				
		Total		0.0			74	4.0				

Cuadro 3-11 Resultados de Procesamiento de Oxidos en 2000 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (14,000t/month: 168,000t/year)

Año	Proceso	Producto		Mes	Tratamiento crudo t				Cu			
					t	distrib. %	Tasa*1 %	lev %	t	distrib. %	tasa lix. %	tasa ppción %
2000	Trituración Aglomeración	Alimentación	A → B, C, D	Enero	3,258	100.0	23.3	2.1	69.3	100.0		
				Febrero	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
				Marzo	4,441	100.0	31.7	2.7	117.7	100.0		
				Abril	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
				Mayo	5,152	100.0	36.8	2.3	120.6	100.0		
				Junio	2,299	100.0	16.4	2.4	54.0	100.0		
				Julio	3,491	100.0	24.9	2.3	81.0	100.0		
				Agosto	5,380	100.0	38.4	2.3	123.7	100.0		
				Septiembre	4,930	100.0	35.2	2.2	105.9	100.0		
				Octubre	5,000	100.0	35.7	2.1	102.7	100.0		
				Noviembre	4,409	100.0	31.5	2.2	96.0	100.0		
				Diciembre	4,006	100.0	28.6	2.2	88.5	100.0		
				Total	42,365	100.0	25.2	2.3	959	100.0		
	Trituración Aglomeración Lixiviación	Pérdida 1 : distrib. Crudo = 1.0%	B	Enero	33	1.0		1.9	0.6	0.9		
				Febrero	0	0.0		0.0	0.0	0.0		
				Marzo	44	1.0		2.7	1.2	1.0		
				Abril	0	0.0		0.0	0.0	0.0		
				Mayo	52	1.0		2.3	1.2	1.0		
				Junio	23	1.0		2.4	0.5	1.0		
				Julio	35	1.0		2.3	0.8	1.0		
				Agosto	54	1.0		2.3	1.2	1.0		
				Septiembre	49	1.0		1.9	1.0	0.9		
				Octubre	50	1.0		2.5	1.2	1.2		
				Noviembre	44	1.0		1.8	0.8	0.8		
				Diciembre	40	1.0		2.2	0.9	1.0		
				Total	424	1.0		2.2	9	1.0		
	Lixiviación	Solución	C → E, F, G	Enero		0.0			56.8	82.0	82.7	
				Febrero		0.0			0.0	0.0	0.0	
				Marzo		0.0			96.3	81.8	82.6	
				Abril		0.0			0.0	0.0	0.0	
				Mayo		0.0			98.6	81.8	82.6	
				Junio		0.0			44.2	81.8	82.6	
				Julio		0.0			66.3	81.8	82.6	
				Agosto		0.0			101.2	81.8	82.6	
				Septiembre		0.0			82.4	77.8	78.5	
				Octubre		0.0			84.0	81.8	82.8	
				Noviembre		0.0			78.6	82.0	82.6	
				Diciembre		0.0			72.4	81.8	82.6	
				Total		0.0			781	81.4	82.2	
		Ripios	D	Enero	3,169	97.3		0.4	11.9	17.1		
				Febrero	0	0.0		0.0	0.0	0.0		
				Marzo	4,301	96.8		0.5	20.2	17.2		
				Abril	0	0.0		0.0	0.0	0.0		
				Mayo	5,002	97.1		0.4	20.7	17.2		
				Junio	2,231	97.1		0.4	9.3	17.2		
				Julio	2,390	68.5		0.4	13.9	17.2		
				Agosto	5,225	97.1		0.4	21.3	17.2		
				Septiembre	4,799	97.3		0.5	22.6	21.3		
				Octubre	4,866	97.3		0.4	17.4	17.0		
				Noviembre	4,287	97.2		0.4	16.5	17.2		
				Diciembre	3,893	97.2		0.4	15.2	17.2		
				Total	40,161	94.8		0.4	169	17.6		
	Precipitación	Pérdida 2 : distrib. Cu = 0.05%	E	Enero		0.0			0.0	0.0		
				Febrero		0.0			0.0	0.0		
				Marzo		0.0			0.1	0.0		
				Abril		0.0			0.0	0.0		
				Mayo		0.0			0.1	0.0		
				Junio		0.0			0.0	0.0		
				Julio		0.0			0.0	0.0		
				Agosto		0.0			0.1	0.0		
				Septiembre		0.0			0.1	0.0		
				Octubre		0.0			0.1	0.0		
				Noviembre		0.0			0.0	0.1		
				Diciembre		0.0			0.0	0.0		
				Total		0.0			0	0.0		
		Precipitado Cu	F	Enero	65	2.0		83.4	54.0	77.9		95.0
				Febrero	0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0
				Marzo	113	2.5		80.8	91.4	77.7		94.9
				Abril	0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0
				Mayo	113	2.2		82.5	93.6	77.7		94.9
				Junio	50	2.2		84.0	42.0	77.7		94.9
				Julio	78	2.2		80.4	62.9	77.7		94.9
				Agosto	113	2.1		84.8	96.1	77.7		94.9
				Septiembre	95	1.9		82.4	78.2	73.9		94.9
				Octubre	97	1.9		82.6	79.8	77.7		94.9
				Noviembre	91	2.1		82.3	74.7	77.8		94.9
				Diciembre	79	2.0		87.3	68.8	77.7		94.9
				Total	894	2.1		82.9	741	77.3		94.9
		Solución descarte	G	Enero		0.0			2.8	4.1		
				Febrero		0.0			0.0	0.0		
				Marzo		0.0			4.8	4.1		
				Abril		0.0			0.0	0.0		
				Mayo		0.0			4.9	4.1		
				Junio		0.0			2.2	4.1		
				Julio		0.0			3.3	4.1		
				Agosto		0.0			5.1	4.1		
				Septiembre		0.0			4.1	3.9		
				Octubre		0.0			4.2	4.1		
				Noviembre		0.0			3.9	4.1		
				Diciembre		0.0			3.6	4.1		
				Total		0.0			39	4.1		

Cuadro 3-13 Resultados de Tasas de Operación para Procesamiento de Oxidos en Planta Ovalle, ENAMI

Nota Tasa de operación (14,000t/mes: 168,000t/año)

Precio Cu Metálico: LME Grade A Settlement (Original: ~93.6: £ /MT, 93.7~: \$/MT)

Año	Producto	Mes	Tonelaje Crudo		Cu		Cu Metal
			t	Tasa %	Ley %	t	LME ¢ /lb
1994	Tasa Operación	Enero	10,017	71.6	2.1	207.5	81.89
		Febrero	12,593	90.0	2.0	256.4	84.12
		Marzo	13,145	93.9	2.1	278.3	86.86
		Abril	15,425	110.2	2.1	329.9	85.36
		Mayo	12,346	88.2	2.1	262.4	97.55
		Junio	12,094	86.4	2.1	253.5	107.24
		Julio	11,867	84.8	2.1	249.9	111.50
		Agosto	10,191	72.8	2.1	215.9	109.15
		Septiembre	12,478	89.1	2.1	262.4	113.67
		Octubre	10,615	75.8	2.2	230.0	115.52
		Noviembre	11,766	84.0	2.1	248.9	127.03
		Diciembre	10,294	73.5	2.3	237.5	135.35
		Total	142,831	85.0	2.1	3,033	104.60
1995	Tasa Operación	Enero	9,764	69.7	2.3	225.5	136.48
		Febrero	9,592	68.5	2.2	208.0	130.53
		Marzo	11,165	79.7	2.2	249.6	132.63
		Abril	10,598	75.7	2.2	228.4	131.70
		Mayo	10,823	77.3	2.2	237.1	125.80
		Junio	10,420	74.4	2.2	230.2	135.84
		Julio	10,928	78.1	2.2	240.2	139.51
		Agosto	10,686	76.3	2.2	239.7	137.75
		Septiembre	9,925	70.9	2.3	223.1	132.25
		Octubre	10,278	73.4	2.3	234.7	127.62
		Noviembre	10,579	75.6	2.3	240.4	135.05
		Diciembre	11,598	82.8	2.2	256.8	132.73
		Total	126,356	75.2	2.2	2,814	133.16
1996	Tasa Operación	Enero	12,843	91.7	2.2	281.5	118.68
		Febrero	13,644	97.5	2.3	314.1	115.11
		Marzo	12,436	88.8	2.3	285.6	116.17
		Abril	12,517	89.4	2.3	292.7	117.74
		Mayo	11,322	80.9	2.2	251.1	120.58
		Junio	12,626	90.2	2.2	273.8	90.27
		Julio	12,568	89.8	2.1	265.6	90.06
		Agosto	11,662	83.3	2.3	262.0	91.11
		Septiembre	11,596	82.8	2.2	253.3	88.06
		Octubre	12,164	86.9	2.2	261.6	88.96
		Noviembre	8,232	58.8	2.2	181.8	101.19
		Diciembre	6,837	48.8	2.0	134.4	102.88
		Total	138,449	82.4	2.2	3,058	104.09
1997	Tasa Operación	Enero	6,808	48.6	1.9	128.6	110.45
		Febrero	4,584	32.7	2.1	96.5	109.13
		Marzo	8,512	60.8	1.9	160.2	109.83
		Abril	9,888	70.6	1.4	141.6	108.46
		Mayo	5,251	37.5	2.1	110.6	114.05
		Junio	2,170	15.5	2.5	53.2	118.51
		Julio	3,585	25.6	2.2	78.8	111.15
		Agosto	4,819	34.4	2.3	109.4	102.11
		Septiembre	3,220	23.0	2.2	72.1	95.59
		Octubre	3,669	26.2	2.1	78.5	93.09
		Noviembre	4,170	29.8	2.2	90.3	86.97
		Diciembre	4,793	34.2	2.1	100.1	79.94
		Total	61,468	36.6	2.0	1,220	103.27

Año	Producto	Mes	Tonelaje Crudo		Cu		Cu Metal
			t	Tasa %	Ley %	t	LME ¢ /lb
1998	Tasa Operación	Enero	4,425	31.6	2.0	88.1	76.59
		Febrero	4,580	32.7	1.7	79.7	75.51
		Marzo	4,927	35.2	2.0	100.2	79.29
		Abril	3,812	27.2	1.9	71.0	81.69
		Mayo	4,555	32.5	1.8	80.7	78.58
		Junio	6,495	46.4	1.7	109.7	75.32
		Julio	5,062	36.2	2.1	105.6	74.89
		Agosto	6,306	45.0	2.0	124.8	73.52
		Septiembre	6,525	46.6	1.9	124.5	74.74
		Octubre	7,011	50.1	1.7	122.3	71.96
		Noviembre	7,550	53.9	1.9	145.2	71.39
		Diciembre	8,216	58.7	2.1	175.2	66.84
		Total	69,465	41.3	1.9	1,327	75.05
1999	Tasa Operación	Enero	10,508	75.1	2.0	212.8	64.92
		Febrero	12,400	88.6	2.0	243.3	63.99
		Marzo	10,907	77.9	2.1	227.6	62.52
		Abril	4,804	34.3	2.2	106.3	66.50
		Mayo	5,777	41.3	2.0	117.3	68.55
		Junio	6,438	46.0	2.0	127.2	64.52
		Julio	4,006	28.6	2.8	110.7	74.39
		Agosto	5,115	36.5	2.4	124.4	74.74
		Septiembre	8,439	60.3	1.9	160.6	79.39
		Octubre	7,208	51.5	2.1	149.5	78.21
		Noviembre	8,179	58.4	1.8	150.5	78.36
		Diciembre	7,758	55.4	2.0	150.9	80.05
		Total	91,539	54.5	2.1	1,881	71.34
2000	Tasa Operación	Enero	3,258	23.3	2.1	69.3	83.64
		Febrero	0	0.0	0.0	0.0	81.69
		Marzo	4,441	31.7	2.7	117.7	78.90
		Abril	0	0.0	0.0	0.0	76.15
		Mayo	5,152	36.8	2.3	120.6	80.99
		Junio	2,299	16.4	2.4	54.0	79.52
		Julio	3,491	24.9	2.3	81.0	81.62
		Agosto	5,380	38.4	2.3	123.7	84.18
		Septiembre	4,930	35.2	2.2	105.9	88.92
		Octubre	5,000	35.7	2.1	102.7	86.12
		Noviembre	4,409	31.5	2.2	96.0	81.43
		Diciembre	4,006	28.6	2.2	88.5	83.94
		Total	42,365	25.2	2.3	959	82.26

Cuadro 3-14 Cotización del Cobre Metálico ¢/lb

Nota LME: Grade A Settlement ¢/lb[Original: ~93.6: £/MT, 93.7~: \$/MT], COMEX: First Position ¢/lb[~89.12: S.G.Price, 90.1~: H.G.Price]

	1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002	
	LME	COMEX	LME	COMEX	LME	COMEX	LME	COMEX	LME	COMEX	LME	COMEX	LME	COMEX	LME	COMEX	LME	COMEX
Ene	81.89	83.84	136.48	139.91	118.68	118.09	110.45	108.29	76.59	76.88	64.92	65.12	83.64	84.84	81.08	83.70	68.22	69.79
Feb	84.12	87.13	130.53	133.77	115.11	116.25	109.13	110.23	75.51	75.52	63.99	63.94	81.69	82.41	80.09	82.01	70.85	72.23
Mar	86.86	89.76	132.63	139.04	116.17	118.20	109.83	114.80	79.29	79.69	62.52	62.50	78.90	79.63	78.87	80.07	72.80	74.53
Abr	85.36	87.87	131.70	134.00	117.74	119.29	108.46	109.70	81.69	81.58	66.50	67.01	76.15	77.36	75.49	76.26	72.14	73.11
May	97.55	100.30	125.80	127.93	120.58	123.33	114.05	115.25	78.58	78.02	68.55	69.06	80.99	82.80	73.30	76.85	72.38	73.22
June	107.24	108.58	135.84	137.76	90.27	105.70	118.51	117.57	75.32	74.90	64.52	65.23	79.52	80.74	72.96	72.58	74.73	76.23
July	111.50	111.68	139.51	138.16	90.06	90.57	111.15	109.94	74.89	75.37	74.39	76.02	81.62	83.93	69.18	69.44		
Ago	109.15	109.38	137.75	137.77	91.11	92.14	102.11	102.11	73.52	73.30	74.74	75.88	84.18	86.67	66.43	67.34		
Sep	113.67	120.05	132.25	132.14	88.06	90.51	95.59	95.14	74.74	75.62	79.39	80.89	88.92	91.49	64.70	65.43		
Oct	115.52	118.90	127.62	128.00	88.96	93.53	93.09	93.08	71.96	72.25	78.21	79.30	86.12	87.63	62.47	63.20		
Nov	127.03	129.97	135.05	136.50	101.19	100.80	86.97	87.55	71.39	71.48	78.36	79.10	81.43	83.25	64.76	66.09		
Dic	135.35	136.86	132.73	131.78	102.88	102.78	79.94	79.29	66.84	66.21	80.05	81.35	83.94	86.92	66.76	67.83		
Prom	104.60	107.03	133.16	134.73	104.09	105.87	103.27	103.58	75.05	75.08	71.34	72.11	82.26	83.97	71.59	72.57		

Cuadro 3-16 Objetivos para el Procesamiento de Minerales Oxidos de Cu: Planta Ovalle, ENAMI

		Año objetivo Objetivo: X1	Actual situat. Max.: X2	Año 2000 Resultado: Y	Años 1994~2000 Resultados	Dif.: X1 - Y	Dif.: X2 - Y	Medidas o factores externos esperados (<>)
1. Tasa uso capacidad instalada: RCU	%	90.0	57.1	25.2	25.2~85.0: Prom.57.2	+64.8	+31.9	1) Incentive para proveedores de minerales a ENAMI
(1) Tonelaje mineral (ley de Cu)	t/año (Cu-%)	151,200 (idem der.)	96,000 (idem der.)	42,365 (2.3)	42,365~142,831: Prom.96,096 (1.9~2.3: Prom.2.1)	+108835 (±0)	+53,635 (±0)	2) Explotación de minas por ENAMI 3) Disminución de ley de corte del mineral
(2) Capacidad	t/año	168,000	168,000	168,000	168,000	±0	±0	4) Operación estable en lixiviación secundaria 5) Cotización de Cu >80~90 ¢ /lb(<>)
2. Tasa recuperación Cu total (Fórmula) tasa recuperación Cu total = {100 - (pérdida Cu 1)} × (tasa lixiviación Cu)/100 × (tasa precipitación Cu)/100 - pérdida Cu 2	%	81.5	(idem izq.)	77.3	56.8~77.3: Prom.72.1	+4.2	+4.2	
(1) Distrib. pérdida Cu 1: chanc., aglom., lixiv.	%	0.5	(idem izq.)	1.0	0.9~1.1: Prom.1.0	-0.5	-0.5	1) Prevención de polvo, 2) Proceso húmedo para finos
(2) Tasa lixiviación Cu: (Distrib. Cu recup. por reciclo de solución descarte/tratada a circ. lixiviación) [Ref.: Distrib. Cu soluc. descarte]	%	86.3 (3.1) [1.0]	(idem izq.) (idem izq.) (idem izq.)	82.2 (0.0) [4.1]	60.3~82.2: Prom.76.7 (0.0) [2.9~4.1: Prom.3.8]	+4.1 (+3.1) [-3.1]	+4.1 (+3.1) [-3.1]	1) Optimización de tamaño partícula, etc. 2) Reciclaje de solución descarte/tratada al circuito lixiv. : uso de bacteria, Fe ³⁺ , etc.
(3) Tasa precipitación Cu	%	95.0	(idem izq.)	94.9	94.9~95.0: Prom.94.9	+0.1	+0.1	1) Gestión para operación estable
(4) Pérdida Cu 2 distrib.: precipitación	%	0.05	(idem izq.)	0.05	0.05	±0	±0	1) Idem
3. Producto: precipitado Cu (cemento Cu)								
(1) Cantidad de precipitado Cu y ley de Cu	t/año	Cal. 3,415	Cal. 2,168	894	894~2,907: Prom.1,865	+2,521	+1,274	
	%	83.0	(idem izq.)	82.9	75.3~82.9: Prom.78.3	+0.1	+0.1	1) Gestión para operación estable
(2) Cantidad de Cu	t/año	Cal. 2,834	Cal. 1,799	741	741~2,261: Prom.1,448	+2,093	+1,058	
4. Ingreso [A]: estimado	US\$/año	2,611,519	1,657,461	654,485		+1,957,034	+1,002,976	
5. Costo producción [B]	US\$/año	3,347,568	2,125,440	987,528		+2,360,040	+1,137,912	
(1) Costo unitario producción	US\$/t crudo (¢ /prod.Cu-lb)	22.14 (Cal. 53.6)	(idem izq.) (Cal. 53.6)	23.31 (Cal. 60.5)		-1.17 (-4.8)	-1.17 (-4.8)	1) Reducción de costos en 5% en cada ítem
6. Utilidad bruta [A - B]	US\$/año	-735,949	-467,979	-333,043		-402,906	-134,936	
< Incremento monetario >	US\$/año	<+452,676>	<+286,704>					

3.2.3 Procesamiento de Minerales Sulfurados

(1) Procesamiento

Los minerales sulfurados de cobre son procesados mediante chancado → molienda → flotación para producir concentrados de cobre.

En las Figuras 3-5 y 3-6 se muestran respectivamente los diagramas de bloques y diagrama de flujo simplificado.

(2) Resultado Operacional

A partir de 1998 en que la cotización del cobre cayó por debajo de 80¢/lb, la producción ha disminuido debido a las dificultades en el abastecimiento del mineral crudo; no obstante a las bajas cotizaciones del cobre, posteriormente al año 2001 ENAMI ha recuperado hasta el 80% en la tasa de operación mediante esfuerzo propio. En los Cuadros 3-17 al 3-24 se muestran los resultados del procesamiento de minerales sulfurados de cobre desde 1994; en el Cuadro 3-3 del acápite 3.1 se muestra los costos operativos; y en el Cuadro 3-25 los consumos de principales materiales para el proceso.

Cuadro 3-25 Consumos de Principales Materiales para el Proceso (2000)

	Molienda	Flotación	
	Bolas (kg/t _{crudo})	Cal apagada (kg/ t _{crudo})	Reactivos (kg/t _{crudo})
Costos unitarios	0.63	2.21	0.20

(3) Análisis pro Incremento de Ingresos

Los incrementos del ingreso se explican mediante la siguiente fórmula por lotes.

$$\text{Ingreso}_{\text{lote}} = \sum \{ \text{Cap.} \times A/100 \times B/100 \times (100 - C)/100 \times D/100 \} (100 - E)/100 \times F$$

En donde,

Cap.: Capacidad instalada para el procesamiento de minerales óxidos de cobre (t/mes, t/año)

A: Tasa de operación (%)

B: Ley de Cu en mineral sulfurado (%)

C: Pérdidas (% merma)

D: Tasa de recuperación del cobre (%)

E: Tasa de inoperatividad

F: Ingreso calculado por ENAMI (US\$/t)

- 1) Cap.: Capacidad instalada para el procesamiento de minerales óxidos de cobre (t/mes, t/año): 7,000t/mes (84,000t/año)

- ① Tema 1 : incremento de escala de producción, es decir incremento en la tasa de operación, contribuiría además a la reducción de costos unitarios.
- ② Análisis 1 : producción en masa (economía de escala), viabilidad del incremento de la producción.

- ③ Resultado 1 : en las condiciones actuales, el incremento de la producción es dificultoso, especialmente desde 1998, año desde el cual la cotización del cobre ha caído por debajo de 80¢/lb; no obstante, a partir del año 2001 mejoraron las compras de minerales logrando acumular entre 30 y 40 mil toneladas y con ello el aumento de la producción.
- ④ Medida 1 : asegurar el abastecimiento del mineral mediante incentivos adicionales por parte de ENAMI hacia las minas de las zonas de influencia. Asimismo, la explotación directa de las minas en propiedad de ENAMI contribuiría considerablemente a la estabilidad en el abastecimiento del mineral.
- ⑤ Objetivo 1 : analizar el reforzamiento de la capacidad instalada y el incremento de la producción. En efecto, en el segundo trimestre del año 2002 se realizaron obras para el incremento de la capacidad instalada a aproximadamente 11,000t/mes (132,000t/año) del 7,000t/mes (84,000t/año) inicial. Se invirtieron 90 millones de pesos chilenos (aproximadamente 120 mil dólares norteamericanos) en la obra, siendo adaptados al proceso un molino de bolas móvil, celdas de flotación y un filtro de discos que se mantenían en desuso respectivamente en las plantas de Vallenar, El Salado y Taltal de ENAMI.
- 2) A: Tasa de operación (%): *Rate of Capacity Utilization* (RCU)
- ① Tema 2 : mantenimiento de una alta tasa de operación que consiste en el mayor factor de afectación a la eficiencia de las operaciones.
- ② Análisis 2 : tasa de operación relacionada directamente al aseguramiento del abastecimiento del mineral crudo.
- ③ Resultado 2: como se mencionó arriba, debido a las dificultades en el abastecimiento del mineral, la tasa de operación ha decaído, aunque en comparación al caso de minerales óxidos es leve. Esta situación se debe a la disminución de actividades de extracción en las minas causada por las bajas cotizaciones del metal (63 - 89¢/lb entre 1998 y 2000), siendo un factor que está fuera de control de ENAMI. Entre los años 1998 y 2000 la tasa de operación se redujo al 54%. En los siguientes cuadros y figuras se muestran los resultados de las tasas de operación del procesamiento de minerales sulfurados y sus correspondientes cotizaciones del cobre desde 1994.
- Cuadro 3-26: Tasa de operación en el procesamiento de minerales sulfurados de cobre: resultados 1994 – 2000.
 - Cuadro 3-14: Cotización del cobre metálico *LME grade A settlement* (venta): resultados 1994 – 2001.
 - Figura 3-7: Correlación entre la tasa de operación del procesamiento de minerales sulfurados de cobre versus cotización del cobre: resultados 1994 – 2000.
- En el Cuadro 3-27 se compila la correlación entre la tasa operación del

procesamiento de minerales sulfurados de cobre versus la cotización del cobre.

Cuadro 3-27 Tasa de Operación en el Procesamiento de Minerales Sulfuros y Cotizaciones

Periodo	Meses	Cotización Cu* ¢/lb			Tasa de Operación Procesamiento Oxidos Cu**				
		Nivel	Rango	Prom.	<50 %	50% a 80%	80% a 100%	>100 %	Prom.
94.1 al 96.11	47	Alto	82 a 140	111,9	1mes [2 %]	15mm [32 %]	22mm [47 %]	9mm [19 %]	82.5
96.12 al 00.12	37	Bajo	63 a 89	76,3	17mm [40 %]	20mm [48 %]	4mm [10 %]	1mes [2 %]	53.8

Notas: *: LME Grade A Settlement (venta), **: entre []: % temporal por nivel de operatividad

Se observa una alta correlación directa entre las tasas de operación del procesamiento de minerales sulfurados de cobre y las cotizaciones de este metal.

Se observa que durante los períodos de alta cotización del cobre (mayor a 82¢/lb, promedio 112¢/lb), se asegura por lo menos una tasa de operación mayor al 50%, siendo el 66% de los mismos superior al 80%, con un promedio del 82.5%. Es decir, durante estos periodos se obtuvieron resultados satisfactorios.

Por otro lado, se observa que durante los períodos de baja cotización del cobre (menor de 89¢/lb, promedio 76.3¢/lb), sólo el 12% de los períodos superaron una tasa de operación mayor al 80%, siendo 40% del total con tasas menores al 50%, y en promedio una tasa del 53.8%. Es decir, con resultados notoriamente deficientes. La tasa de operación del año 2000 resultó ser de 56.4%.

Como se observa, la adquisición de los minerales son eficientes por encima de un rango de cotizaciones de cobre entre 80¢/lb y 90¢/lb; y contrariamente, por debajo de él son deficientes. Los minerales sulfurados son relativamente más fáciles de abastecerse en comparación con los minerales óxidos.

En efecto, a partir del año 2001, el abastecimiento de minerales sulfurados ha mejorado considerablemente, y consecuentemente ha contribuido al incremento de la tasa de operación.

- ④ Medida 2 : deberá esforzarse en mejorar y mantener la tasa de operación con el fin de beneficiarse con la correspondiente reducción de costos en forma estable. Además, se deberán realizar mejoramientos en el sistema de incentivos para la adquisición del mineral crudo, inversión para exploraciones y transferencia de tecnología. Así como analizar la posibilidad de explotar directamente yacimientos de su propiedad modificando su actual objeto estatutario.

Actualmente se han introducido nuevas modalidades de incentivos con el fin de mejorar el abastecimiento de minerales.

- ⑤ Objetivo 2 : tasa de operación estable del 90% ($= 7,000t /mes \times 90\% = 6,300t/mes$ ó $75,600t/año$)

Año 2000: 56.4% (1994 – 2000: 42.3% – 95.5%, promedio: 69.2%)

Para el incremento de la tasa de operaciones se requiere de una mejora en las cotizaciones (entre 80¢/lb y 90¢/lb), mejora en el sistema de incentivos para la adquisición de mineral crudo.

3) B (Ley de cobre en mineral sulfurado)

- ① Tema 3 : de ser viable la reducción de costos unitarios, se podrá reducir la ley de corte del mineral. Ello, facilitará las operaciones de extracción en las minas incrementando las reservas explotables. Como consecuencia se obtendrá mayor abastecimiento de mineral crudo.

- ② Análisis 3 : reducción de la ley de corte de mineral crudo acompañado de una reducción de costos unitarios.

- ③ Resultado 3 : la ley del mineral crudo oscila entre 1.7 y 2.9% (1994 – 2000, promedio: 2.2%). Actualmente, se está practicando la reducción de la ley de corte del mineral crudo adquirido.

- ④ Medida 3 : se requiere reducir aún más la ley de corte.

Se requiere aumentar el procesamiento con la finalidad de reducir los costos unitarios. En el caso de los minerales sulfurados procesados mediante flotación, se deberá tener cuidado en evitar la mezcla de minerales oxidados, ya que sólo son materia de flotación, los minerales sulfurados. Además, se deberá controlar los contenidos de oro y plata en el concentrado, así como los cuidados que se deben tener con los elementos que son materia de penalidades en la valorización del concentrado.

- ⑤ Objetivo 3 : reducción en aproximadamente 1% de ley de corte de los minerales crudos, simultáneamente reducción de costos unitarios. (nota: año 2000: 1.5%, [1994-2000: 1.3%-4.5%, mínimo mensual: 1.3%]).

4) C (Pérdidas / % merma)

Actualmente, las pérdidas no son contabilizadas. A continuación se realiza un diagnóstico por operaciones.

4)-1 Polvos de trituración y otros

- ① Tema 4 : se genera gran cantidad de polvo durante las operaciones de apilamiento y movimiento de minerales con alta ley de cobre, en las operaciones de chancado, alimentación y apilamiento para aglomeración y desmontes de aglomeración, ocasionando también pérdidas.

La reducción de éstas pérdidas contribuirá considerablemente la recuperación y consecuentemente al aumento de los ingresos.

- ② Análisis 4 : reducción de polvos.

- ③ Resultado 4 : se observa considerable reducción de polvos al aplicarse las recomendaciones de rociado de agua.
- ④ Medida 4 : al mismo tiempo de prevenir la generación de polvo reduciendo la manipulación del mineral triturado, se deberá analizar el tratamiento de finos (generación primaria durante el abastecimiento y secundaria durante trituración: lamas) mediante los procesos hidrometalúrgicos.
- ⑤ Objetivo 4 : mantenimiento de pérdidas ínfimas.
- 4)-2 Pulpa en molienda, flotación y secado
- ① Tema 5 : incremento de recuperación mediante reducción de pérdidas de metales contenidos en pulpa durante las operaciones de molienda, flotación y secado del concentrado. Ello contribuirá al incremento de ingresos.
- ② Análisis 5 : prevención de derrames de pulpa fuera del circuito.
- ③ Resultado 5 : no existe derrame de minerales debido al control de fosas (*pit*).
- ④ Medida 5 : mantenimiento de la política actual.
- ⑤ Objetivo 5 : mantenimiento de pérdidas ínfimas.
- 4)-3 Secado, apilamiento y transporte de concentrado de cobre
- ① Tema 6 : incremento de la recuperación mediante la reducción de pérdidas en las operaciones de transporte en las secciones de filtrado, secado y apilamiento. Ello contribuirá al incremento de ingresos.
- ② Análisis 6 : prevención de pérdidas del concentrado de cobre fuera del circuito.
- ③ Resultado 6 : las pérdidas ocasionadas por el viento en la zona de secado son ínfimas.
- ④ Medida 6 : mantenimiento de la política actual y prevenir las pérdidas mediante apilamiento con sistema de lavado, instalación de coberturas sobre los equipos y maquinaria de transporte.
- ⑤ Objetivo 6 : mantenimiento de pérdidas ínfimas. En efecto, se instaló un equipo de sedimentación de finos de gran capacidad con el objeto de aumentar la concentración del concentrado de cobre.
- 5) D (Recuperación de cobre y otros metales)
- 5)-1 Composición mineralógica del mineral crudo: los minerales materia de flotación son los minerales sulfurados de cobre.
- | | | | |
|-------------|--|-------------------|--------------------------------|
| ① Minerales | Sulfuros primarios | calcopirita | CuFeS_2 |
| | | bornita | Cu_5FeS_4 |
| | Sulfuros secundarios | covelina/covelita | CuS |
| | | calcocita | Cu_2S |
| ② Gangas | Limonita, partículas finas fangolitas compuestos principalmente de goetita y | | $\alpha\text{-FeO(OH)}$ |
| | | pirita | Fe_2S |
| | | hematita | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ |
| | | galena | PbS |
| | | cuarzo | SiO_2 , etcétera |

5)-2 Investigaciones requeridas

① Investigación mineralógica

Realización de investigación con respecto al mineral crudo, concentrado y relave.

- a) Composición y contenido metalúrgico del mineral crudo.

Análisis morfológico (idiomórfico/alotromórfico, etc.) de minerales sulfurados materia de procesamiento y relaves; asimismo, la presencia de minerales no liberados en el relave.

- b) Tamaño de partícula de liberación de los minerales sulfurados del crudo.

② Investigación en flotación

Realización de investigación metódica e interpretación de factores relevantes a la flotación.

- a) Factor 1: Mineral materia de recuperación
- b) Factor 2: Granulometría en molienda (granulometría para la alimentación en flotación), distribución granulométrica, grado de liberación.
- c) Factor 3: Condiciones de flotación: método de acondicionamiento (forma de celda, número y sentido de impulsores para la agitación, uso de bomba para agitación); clases, cantidad de adición, orden de adición, tiempo de adición, etapa de adición y lugar de adición de reactivos de flotación (reguladores de pH, activadores, depresores, sulfurizantes, dispersantes, colectores, espumantes, etc.); temperatura de flotación.
- d) Factor 4: Tiempo de flotación: concentración de pulpa, número de celdas.
- e) Factor 5: Selección del proceso de flotación: flotación plana, flotación diferencial directa, flotación diferencial en *bulk*, etc.
- f) Factor 6: Selección de equipos: celdas tradicionales (agitación mecánica) (de celda a celda, flujo libre), celdas columna (agitación con aire 【burbujas regulares, finas: microburbujas】)
- g) Factor 7: Sistemas de control: control automatizado, control manual: tipo de control (feedback, feed-forward), circuito utilizado (fuzzy, expert system, etc.)
- h) Factor 8: frecuencia de paradas: especialmente los circuitos de molienda y flotación.
- i) Factor 9: Separación de lamas ó aplicación de flotación de lamas.
- j) Factor 10: Grado de oxidación de la superficie de contacto de los minerales en la alimentación de flotación: tiempo de exposición al aire post molienda.

Posteriormente, realización de investigación relacionada al mejoramiento de la recuperación.

- a) Determinación de objetivo para la tasa de recuperación: reconocimiento del tiempo de flotación requerido: curva de “recuperación versus tiempo” para las espumas del *rougher* y limpieza.
- b) Medidas para solucionar problemas de tiempo de flotación insuficiente
 - Inadecuada: incremento del volumen del circuito de flotación, es decir, aumento

del número de celdas de flotación: requerimiento de mayor espacio para instalaciones, alto costo.

- Adecuada (1): mantenimiento de alta densidad en circuito de molienda e incremento de densidad de pulpa en flotación, especialmente mediante la disminución de drenaje de agua para arrastre de pulpa en el circuito de flotación: requerimiento de menor espacio para instalaciones, bajo costo.
- Adecuada (2): mejoramiento de la eficiencia en circuito de molienda, de modo que se optimice el grado de liberación de los minerales, con la finalidad de mejorar las características de operación y reducir el tiempo requerido en flotación: requerimiento de menor espacio para instalaciones, bajo costo.

Asimismo, realización de investigación relacionada al mejoramiento de la ley de concentrado.

- a) Determinación de objetivo para la ley de concentrado: reconocimiento del número de etapas de limpieza requerido: leyes en la etapa de limpieza, es decir reconocimiento de la relación ley de concentrado en función al número de etapas en circuito de limpieza (curva “ley de concentrado versus número de etapas en limpieza”).
- b) Medidas para insuficiente número de etapas de limpieza:
 - Utilización de celdas tipo columna: en comparación a las celdas tradicionales (cúbicas), permiten obtener espesores de fase de flotación entre 5 a 10 veces mayores, con la consecuente mejora en la ley de concentrado bajo mejores condiciones y estabilidad de operación.
 - Concentración / secado de espuma de *rogher*: eliminación de adición excesiva de reactivos de flotación (espumante, colectores, etc.).
 - Otras medidas: mejora de eficiencia en la selección y cantidad de adición de reactivos de flotación (especialmente espumante).

5)-3 Recuperación de cobre

- ① Tema 7 : mejoramiento de la recuperación de cobre mediante condiciones óptimas en molienda y flotación.
- ② Análisis 7 : reconocimiento de las condiciones óptimas en molienda y flotación.
- ③ Resultado 7 : aún existe brecha para el incremento.
En efecto, granulometría de molienda actual (alimentación a flotación):
76-80% malla -200mesh.
- ④ Medida 7 :
 - a) Investigación mineralógica: estructura y composición mineralógica de los minerales materia de recuperación, grado de liberación (es decir, verificación de tiempo óptimo de molienda, análisis del proceso chancado / molienda)
 - b) Investigación en flotación (1): tamaño de partícula de liberación (verificación del tiempo óptimo de molienda, análisis del proceso trituración / molienda)
(Situación común): molienda suficiente para la liberación de todos los minerales

materia de recuperación: disminución de recuperación por generación de lamas secundarias interfiriendo el proceso de flotación. Asimismo incidirá en mayores costos de molienda debido a que molerá ganga que generalmente es de mayor dureza que el mineral.



- (Medida): molienda ligeramente gruesa y remolienda solamente de minerales insuficientemente liberados. Es decir, moler solamente minerales materia de recuperación y dejar de moler la ganga. De ello se obtendrá una mayor eficiencia en molienda y reducción de costos de operación.
- Remolienda (1): Envío a *cleaner* para su limpieza, las espumas del *rougher*, que consisten de minerales altamente liberados de buena flotabilidad. Envío a molienda para su remolienda, las espumas del *scavenger* que consisten de fragmentos de minerales insuficientemente liberados de baja flotabilidad. Ello se muestra en la Figura 3-8.
 - Remolienda (2): Remolienda de colas de *cleaner* con el pequeño molino instalado en el circuito de limpieza.
- c) Investigación en flotación (2): optimización del proceso mediante mejoramiento del circuito de molienda (análisis de alternativas)
- Molino de bolas: 1 etapa
 - Molino de bolas: 2 etapas en serie o en paralelo
 - Molino de barras: 2 etapas en serie
 - Molino de bolas SAG (semiautógeno): 2 etapas en serie (incluye parcialmente capacidad de chancado)
 - Otros
- d) Investigación en flotación (3): análisis de factores que afectan a la flotación
- e) Investigación en flotación (4): incremento de la tasa de recuperación en flotación (relación entre *rougher* y *scavenger*)
- (Procedimiento): Curva de flotación → tasa de recuperación requerida → verificación del tiempo de flotación óptimo.
- (Situación común): incremento de capacidad de las celdas de flotación: alto costo, requerimiento de espacio en planta.



- (Medida): en caso de insuficiencia del tiempo de flotación, se deberá incrementar la densidad de pulpa, que permitirá un mayor tiempo de retención en el proceso.
- Para ello se aumenta la inclinación de la canaleta de drenaje de las espumas en *rougher* y *scavenger* reduciendo el flujo de

agua de arrastre. Es decir, consiste en aumentar la densidad de flotación para reducir el flujo de flotación con la finalidad de incrementar el tiempo de flotación. Esta medida podrá requerir la instalación de bomba de espuma según las condiciones de operación. Asimismo, reducir al mínimo el flujo de agua requerido en molienda.

Los incrementos en el tiempo de flotación estimados a partir de supuestos incrementos en densidad de pulpa (PD) se muestran a continuación. Siendo la densidad de pulpa actual (en promedio) de 20% (resultado diciembre 2001: densidad de pulpa de alimentación a flotación: 26.11%, densidad de relave: 14.88%), se obtienen los siguientes resultados:

- Caso PD 25% (+5%): +30% en tiempo de flotación
- Caso PD 30% (+10%): +65% en tiempo de flotación
- Caso PD 35% (+15%): +95% en tiempo de flotación

- f) Investigación en flotación (4): incremento de la ley de concentrado (relacionado con *cleaner*)

(Procedimiento): Curva de limpieza → ley de concentrado requerido → número de etapas de limpieza.

- ⑤ Objetivo 7 : estabilización de la tasa de recuperación de cobre en 91%. (nota: año 2000: 84.3%, 【1994-2000: 84.3%-93.5%, promedio: 89.9%】).

5)-4 Recuperación de oro y plata

- ① Tema 8 : tasa de recuperación óptima de oro y plata.
- ② Análisis 8 : condiciones óptimas en flotación.
- ③ Resultados 8 : se recuperan solamente oro y plata. No existe molibdeno, por tanto no es materia de recuperación. Debido a que los comportamientos del oro y la plata están asociados al cobre, el control de flotación se realiza controlando al cobre.
- ④ Medida 8 : mantenimiento de las políticas actuales. Investigación mineralógica sobre oro y plata.
- ⑤ Objetivo 8 : incremento de recuperación del cobre, y en forma asociada la recuperación de oro y plata. (nota: año 2000: Au: 42.1%, Ag: ¿161.1%?, 【1994-2000: Au: 42.1%-¿179.8%?, Ag: 87.1%-¿327.8%?】).

5)-5 Ley del concentrado de cobre

- ① Tema 9 : Ley óptima del concentrado de cobre.
- ② Análisis 9 : Condiciones óptimas en molienda y flotación.
- ③ Resultado 9 : se da importancia a la tasa de recuperación, por ende la ley de concentrado es un factor dependiente. Además, la ley del concentrado es influenciada considerablemente por las variaciones de la composición del mineral sulfurado secundario en el crudo. Sin embargo, debido a que la

composición de cobre en calcopirita (mineral materia de tratamiento con menor composición de cobre) es 34.6%, aun existe brecha para el mejoramiento.

- ④ Medida 9 : Revisión del circuito de limpieza.

Actualmente, las espumas de un banco de *rougher* van directamente a formar parte de los concentrados. Se deberá analizar la inclusión de limpieza para estas espumas con la finalidad de mejorar la ley, ya que muy probablemente estas espumas contienen partículas no liberadas.

- Análisis de introducción de celda tipo columna para el circuito de limpieza.
- Análisis de introducción de remolienda de pequeño tamaño.
- Análisis de separación de la pirita mediante su depresión regulando el pH, en caso su concentración sea muy alta, ya que su selectividad en la flotación es similar a los minerales sulfurados de cobre.

- ⑤ Objetivo 9 : alcanzar el estándar de empresas de gran escala: 30%. (nota: año 2000: 22.3%, 【1994-2000: 22.0%-29.1%, máximo mensual: 26.4%】).

5)-6 Contenido de impurezas en el concentrado de cobre

- ① Tema 10 : prevención de elementos que influyen negativamente al proceso de refinación (Pb, Zn, As, Sb, Bi, Ni, F, Cl, etc.).
- ② Análisis 10 : prevención en la adquisición mediante análisis de muestra del mineral crudo, prevención de envenenamiento del concentrado de cobre.
- ③ Resultado 10 : actualmente es un aspecto que no se presta mucha atención.
- ④ Medida 10 : aplicación de acuerdo a necesidad.
- ⑤ Objetivo 10 : análisis para la introducción futura del sistema de control de operaciones considerando los factores de envenenamiento por los elementos citados.

6) E (Tasa de inoperatividad)

- ① Tema 11 : disminución de la tasa de inoperatividad.
- ② Análisis 11 : prevención de:
- Desabastecimiento de mineral crudo
 - Averías en las instalaciones
 - Accidentes personales
 - Conflictos laborales.
- ③ Resultados 11: el desabastecimiento del mineral crudo es un grave problema que afecta enormemente a la tasa de operación. Este tiene relación con las fluctuaciones en la cotización del cobre y los descansos prolongados en forma concentrada: ver acápite 2). Los otros aspectos se encuentran en condiciones satisfactorias.
- ④ Medida 11 : analizar nuevamente las formas de prevenir la disminución de la tasa de inoperatividad.
- ⑤ Objetivo 11 : incremento de la tasa de operación mediante la prevención del

desabastecimiento del mineral crudo: ver acápite 2).

7) F (Valorización del concentrado de cobre 【ENAMI】)

- ① Tema 12 : mejoramiento y revisión de la valorización de actividades (ingresos – costos).

Los ingresos originados por el procesamiento de minerales sulfurados son los siguientes:

Maquila por abastecimiento de minerales crudos + maquila por chancado de minerales crudos + maquila por procesamiento (molienda + flotación) + valorización de concentrados de cobre + otros conceptos.

Es decir, la composición de los costos está relacionada con la cantidad de mineral procesado y la eficiencia en la producción de concentrados de cobre de la planta Ovalle, comparado con resultados virtuales de una planta estándar definida por ENAMI.

- ② Análisis 12 :

- Incremento del volumen de procesamiento.
- Incremento de recuperación de cobre y ley de cobre en el concentrado

- ③ Resultado 12 : los ingresos inherentes al procesamiento de minerales sulfurados se calcularon del siguiente modo:

- Resultado del año 2000: Mineral procesado = Capacidad instalada (84,000t/año) × tasa de operación (56.4%) = 47,418t/año: Y = 493,362US\$/año
- Objetivo: Mineral procesado = Capacidad instalada (84,000t/año) × tasa de operación (90%) = 75,600t /año, → X = 1,015,368 a 951,003US\$/año

- ④ Medida 12 : Incremento del volumen de procesamiento de minerales, tasa de recuperación de cobre y ley de cobre en el concentrado.

- ⑤ Objetivo 12 : Análisis y mejoramiento continuo. Análisis a corto y largo plazo con respecto al volumen de procesamiento.

(4) Análisis pro Reducción de Costos

Se deberá plasmar la reducción del costo total, sin embargo, como indicadores de la gestión, son importantes los costos unitarios (US\$/t_{mineral crudo} y ¢/lb_{producción Cu}).

Como objetivo para la reducción del costo total de producción, se deberá establecer una reducción del 5% en costos unitarios relacionados.

15.93US\$/t_{mineral-crudo} (año 2000, fuente: Memoria Anual 2000: ENAMI) →

16.77US\$/t_{mineral –crudo}

Como resultado calculado se obtuvo: 47.1¢/lb_{producción-Cu} (resultado año 2000: 52.8¢/lb_{producción-Cu})

1) Fuerza Laboral

- ① Tema 13 : optimización en la organización y nómina.

- ② Análisis 13 : revisión del plan de producción proyectando la situación actual hacia el

futuro.

- ③ Resultado 13 : se encuentra realizando racionalización del personal acorde al plan de producción.
- ④ Medida 13 : racionalización de acuerdo a requerimiento.
- ⑤ Objetivo 13 : adecuación continua

2) Ahorro de Energía

- ① Tema 14 : optimización del procesamiento: reducción del consumo de energía eléctrica, combustible y aceites.
- ② Análisis 14 : procesamiento de acuerdo a la capacidad instalada y revisión del proceso.
- ③ Resultado 14 : se está plasmando la reducción de los costos mediante el almacenamiento de minerales, con el objeto de procesarlos en masa disminuyendo los consumos de electricidad y combustibles entre otras fuentes de energía.
- ④ Medida 14 : reducción de los costos mediante el almacenamiento de minerales, con el objeto de procesarlos en masa, y mejoramiento del proceso disminuyendo los consumos de electricidad y combustibles entre otras fuentes de energía.
- ⑤ Objetivo 14 : análisis continuo de acuerdo a las condiciones vigentes.

3) Ahorro de materiales

- ① Tema 15 : optimización del procesamiento: minimización de consumo de materiales sujetos al desgaste.
- ② Análisis 15 : procesamiento de acuerdo a la capacidad instalada y revisión del proceso. Además, análisis del uso de anti-abrasivos.
- ③ Resultado 15 : se está plasmando la reducción de los costos mediante el almacenamiento de minerales, con el objeto de procesarlos en masa disminuyendo los consumos de materiales.
- ④ Medida 15 : reducción del consumo de forros y recubrimientos en chancado y molienda mediante el uso de anti-abrasivos. Para los materiales sujetos al desgaste, se reducirán los costos unitarios con el empleo de anti-abrasivos. Ello contribuirá considerablemente a la reducción del tiempo de mantenimiento debida a la disminución de la frecuencia de reemplazo de piezas.
- ⑤ Objetivo 15 : mejoramiento continuo.

(5) Compilación

En el Cuadro 3-28 se muestra la recopilación de los mejoramientos requeridos y objetivos del procesamiento de minerales sulfurados de cobre.

- Mejoramiento 1: incremento de ingresos (valorización de producción)

① Incremento de tasa de operación:

Resultado año 2000 (Y): 56.4%; objetivo (X): 90%.

(Medidas): revisión del sistema de fomento para la adquisición de minerales crudos, explotación directa de minas por ENAMI, reducción de ley de corte para la adquisición del mineral, práctica estable de lixiviación secundaria,

cotización óptima del cobre: mayor de 80¢/lb, etc.

② Incremento de tasa de recuperación de cobre:

Resultado año 2000 (Y): 84.3%; objetivo (X): 91.0%.

(Medidas): aplicación de circuito óptimo de molienda, aseguramiento del tiempo de flotación mediante optimización de la densidad de pulpa, etc.

③ Incremento de ley del concentrado:

Resultado año 2000 (Y): 22.3%; objetivo (X): 30.0%.

(Medida): mejoramiento del circuito de limpieza e introducción de remolienda en el circuito. análisis de introducción de celdas tipo columna en el circuito de limpieza, depresión y separación de pirita, etc.

• Mejoramiento 2: reducción de costos

Resultado año 2000 (Y): 16.77US\$/t_{crudo}; objetivo (X): 15.93US\$/t_{crudo}

(Medida): reducción de costos en 5%.

Se analizó el grado de mejoramiento calculando la diferencia entre los valores objetivo (90% de la capacidad instalada: 84,000t/año × 90% = 75,600t/año) y el resultado del año 2000 (año base: 47,418t/año de procesamiento).

En cuanto a los resultados generales, a pesar de aumentar la tasa de operación hasta el 90% de la capacidad instalada, no ha sido posible evitar los resultados negativos, ya que viene arrastrando pérdidas desde el año 2000. Los valores estimados para el nivel objetivo (X: entre -188,940 y -253,305US\$/año) resultaron ser negativos.

A continuación se muestra la compilación de los resultados. Los valores entre paréntesis corresponden a valores sin efectuar los mejoramientos.

Los efectos (contribución) de los mejoramientos se estimaron entre +280,326 y +277 para el nivel objetivo.

Compilación de Resultados: Procesamiento de Minerales Sulfurado (Unidad: US\$/año)			
	Objetivo (X)	2000 (Y)	(X) – (Y)
Proces. (t/año)	75,600	47,418	+28,182
Ingresos (A)	1,015,368 a 951,003 (798,546 a 736,585)	493,362	+522,006 a +457,641
Costos (B)	1,204,308 (1,267,812)	795,200	+409,108 (+2,536,943)
(A) – (B)	-188,940 a -253,305 (-469,266 a -531,227)	-301,838	-112,898 a +48,533
Contribución	+280,326 a +277,922		

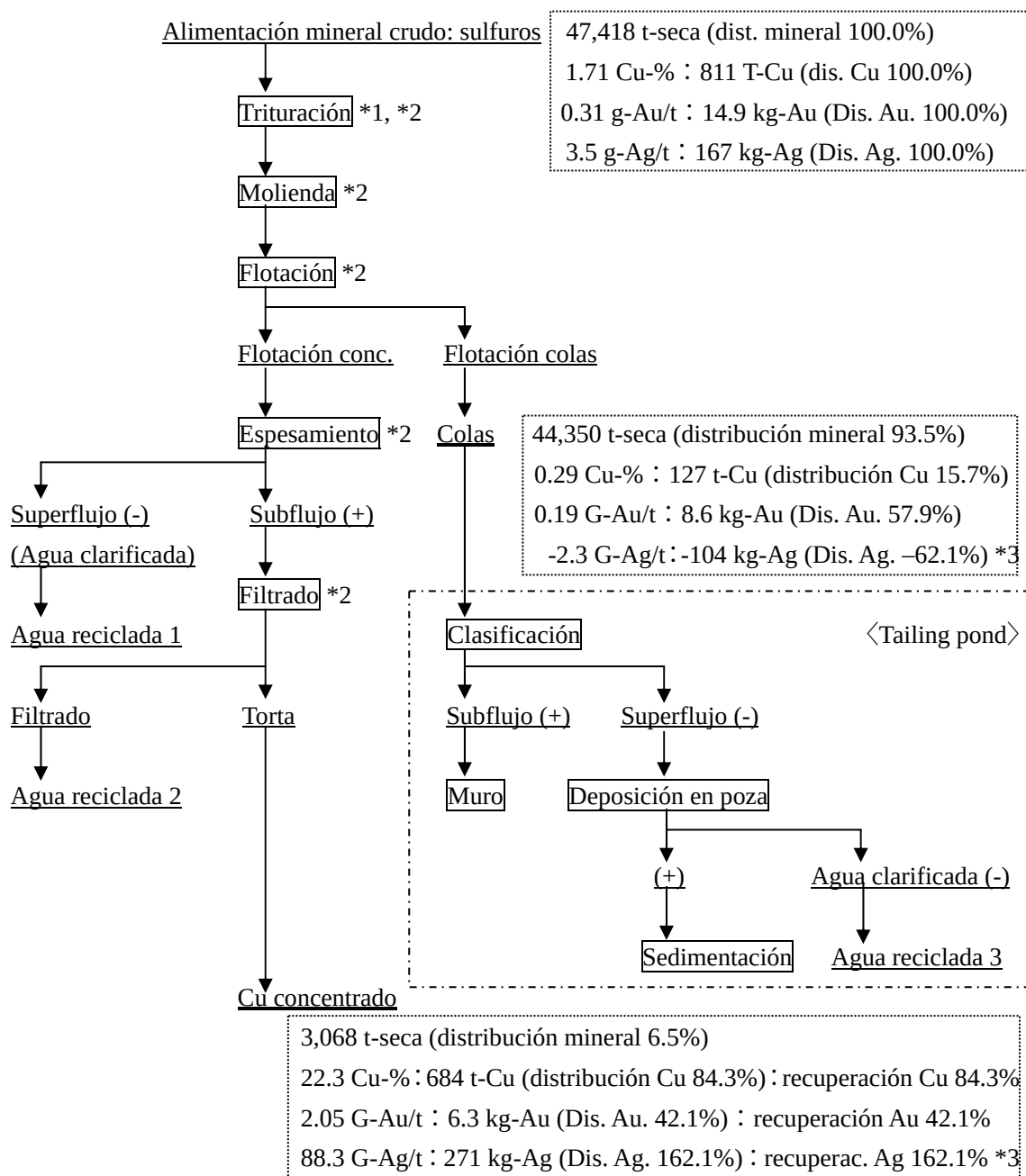


Figure 3-5 Diagrama de Bloques con Balance de Materia de Minerales Sulfuros de Cobre 2000
 Planta Ovalle, ENAMI

Note *1 : Se determina las condiciones de compra, para cada lote mediante pesado, muestreo y análisis.

*2 : Pérdidas deben ser nulas.

*3 : Se debe a tratamiento conjunto con minerales de alta ley de plata?

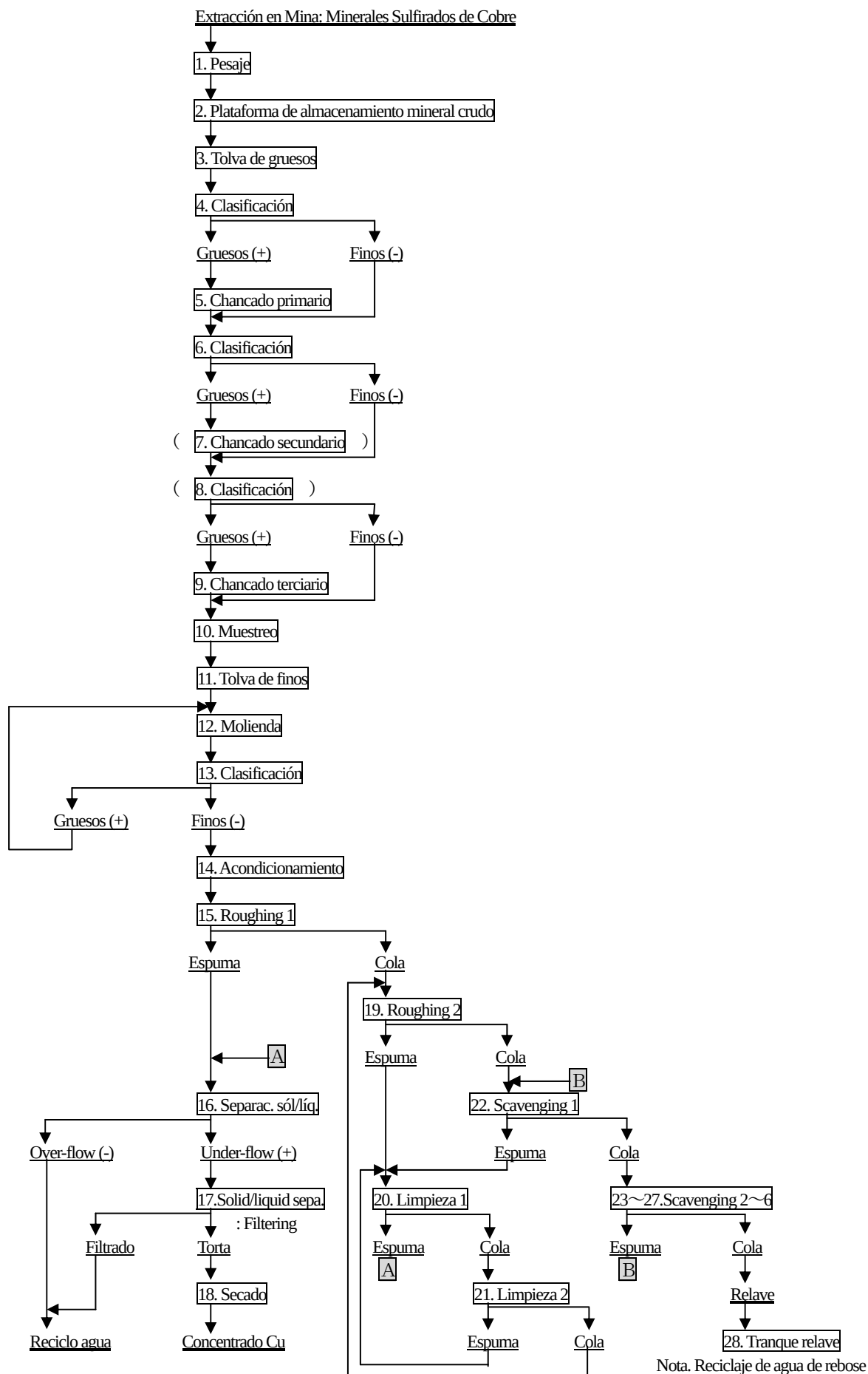


Figura 3-6 Diagrama de Bloque: Procesamiento de Minerales Sulfurados de Cu: Planta Ovalle, ENAMII

(Figura 3-6) Equipos para Procesamiento de Minerales Sulfurados: Planta Ovalle, ENAMI

No.	Proceso	Equipamiento y especificación	Observaciones
1	Pesaje	Balanza para pesaje de camiones	Cada lote de mineral
2	Almacenamiento mineral crudo		Tamaño de partícula: -7"
3	Almacenamiento gruesos	Tolva de gruesos	Cada lote de mineral
4	Clasificación	Zaranda fija, mandíbula (apertura 2-1/2"), 1 unidad	
5	Chancado primario	Chancadora giratoria: Trylor, TY-1398F tipo, 3' ϕ , 50t/h, 1 unidad (circuito separado: Single Toggle Crusher, 1 unidad)	
6	Clasificación	Malla vibratoria (apertura 3/4"), 1 unidad	
7	Chancado secundario	Chancadora cónica: Symons, SH tipo, 3' ϕ , 50t/h, 1 unidad	
8	Clasificación	Malla vibratoria (apertura 1/4"), 1 unidad	
9	Chancadora terciaria	Chancadora cónica: Symons, SH tipo, 3' ϕ , 50t/h, 1 unidad	
10	Muestreo	Muestreador automático $\rightarrow$ análisis	Cada lote de mineral
11	Almacenamiento mineral chancado		
12	Molienda	Molino de bolas: Head Wrightson, 7' $\times$ 7', 160t/d, 1 unidad +Traylor, 7' $\times$ 6', 140t/d, 1 unidad	Tamaño de partícula alimentación: -1/4" (-6.35mm)
13	Clasificación	Hidrociclón: Vulco D-10B, 1 unidad /molino de bolas (stand-by 1 unidad /molino de bolas)	
14	Acondicionamiento	Acondicionador de flotación, 1unidad	Tamaño de partícula alimentación: -200mesh (-0.074 mm) 76~80%
15	Roughing 1	Equipo flotación: Krupp, NR159 (Denver 21), 1.5m ³ /celda, 2celdas, Tipo flujo libre: 1R	
16	Separación sol/liq	Espesador: Dor Oliver, tipo cabezal móvil A, 140m ³ , 5' ϕ , 1 unidad	
17	Separación sol/liq : Filtración	Filtro de vacío: Dor Oliver, tipo American Disk 39216 -2R, 75', 3 discos	
18	Secado	A intemperie	
19	Roughing 2	Equipo flotación: Krupp, NR159, 1.5m ³ /celda, 2 celdas, Tipo flujo libre: 2R	
20	Limpieza 1	Equipo flotación: Denver, 18SP, 0.6 m ³ /celda, 2 celdas, tipo celda a celda:1C	
21	Limpieza 2	Equipo flotación: Denver, 18SP, 0.6 m ³ /celda, 2 celdas, tipo celda a celda:2C	
22	Scavenging 1	Equipo flotación: Krupp, NR159, 1.5m ³ /celda, 4celdas, Tipo flujo libre:1S	
23~27	Scavenging 2~6	Equipo flotación: Krupp, NR159, 1.5m ³ /celda, (4+4) celdas, Tipo flujo libre: 2,3S +Denver, 24SD, 1.4 m ³ /celda, (3+3)celdas, tipo celda a celda:4,5S +Forrester, Supper charge (aireado), Tipo flujo libre, 7mL, aprox.10m ³ , 1 celda: 6S	
28	Tranque de relaves	Hidrociclón, 1 unidad: Over-flow(-) al interior del tranque, y Under -flow (+) para muro contención	

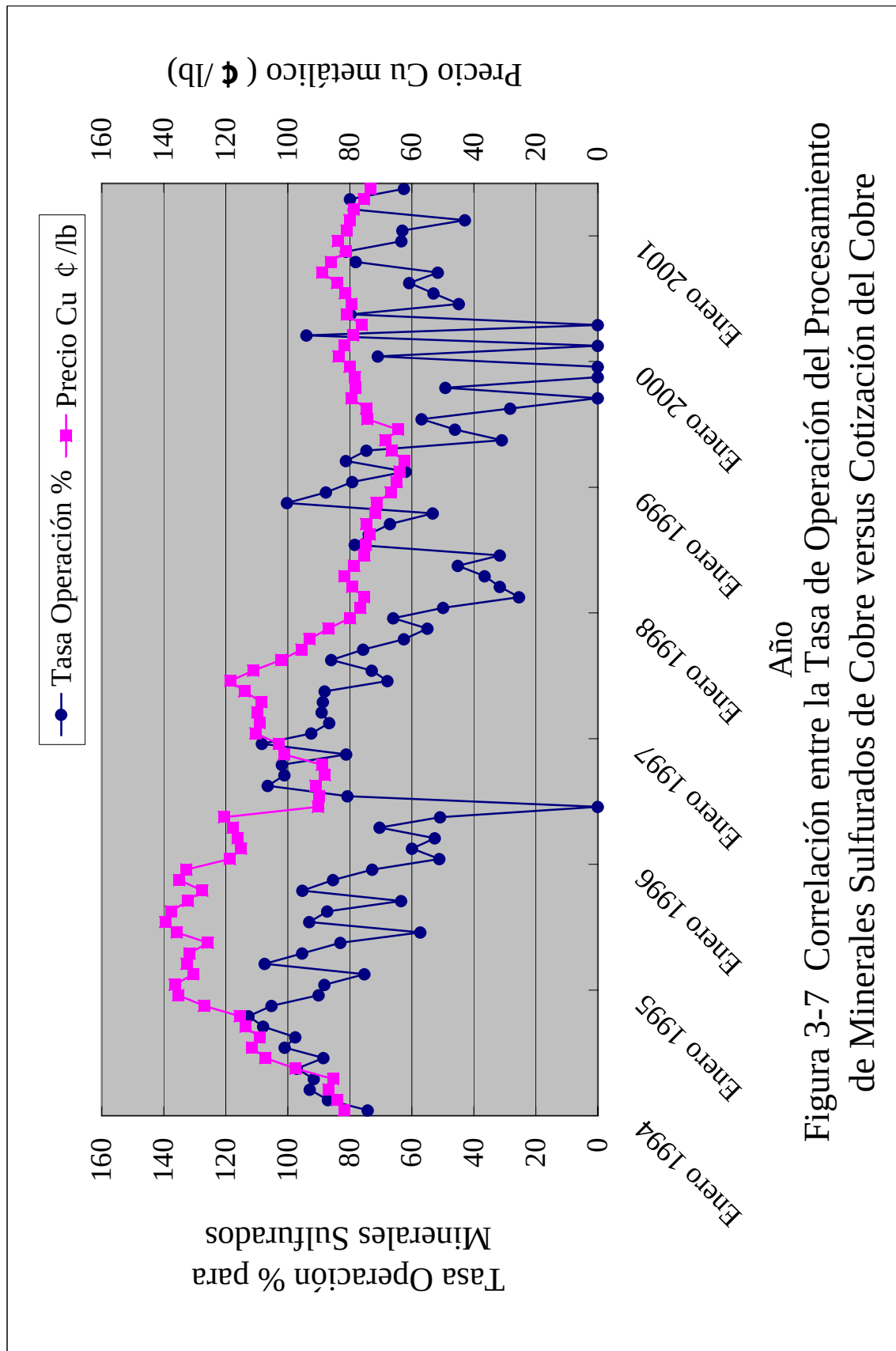


Figura 3-7 Correlación entre la Tasa de Operación del Procesamiento de Minerales Sulfurados de Cobre versus Cotización del Cobre

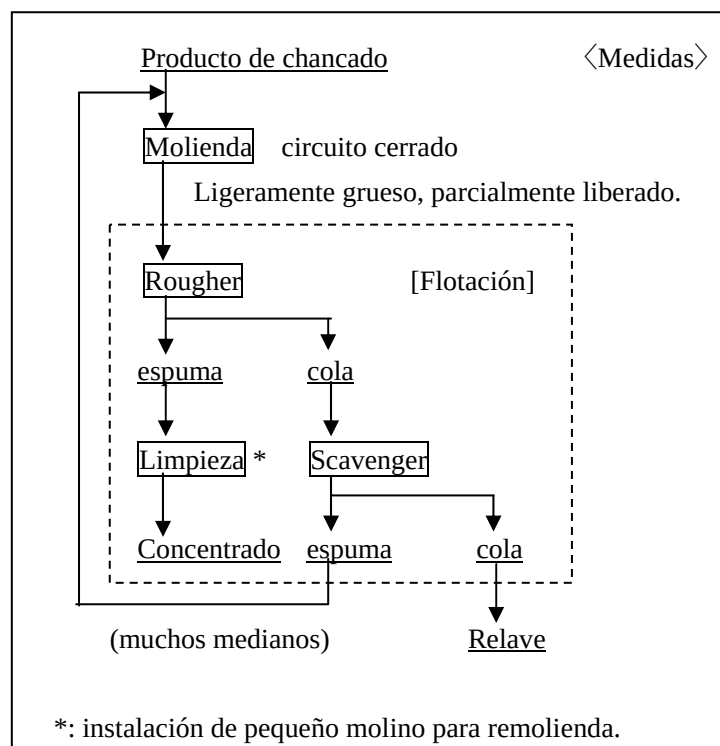
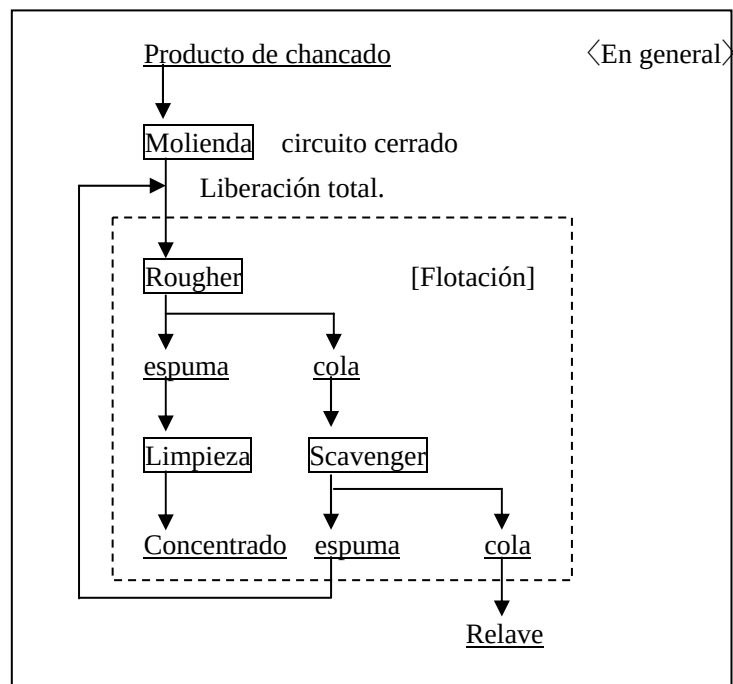


Figura 3-8 Eficiencia Óptima y Reducción de Costos en Sección Molienda,
Grado de Liberación Suficiente

Cuadro 3-17 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1994 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu		Au		Ag					
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %				
1994	Alimentación	Enero	5,191	100.0	74.2	3.1	158.1	100.0	2.2	11.3	100.0	11.6	60.0	100.0	
		Febrero	6,092	100.0	87.0	2.9	176.1	100.0	0.3	2.1	100.0	12.2	74.4	100.0	
		Marzo	6,503	100.0	92.9	2.4	153.2	100.0	1.3	8.3	100.0	10.9	71.1	100.0	
		Abril	6,414	100.0	91.6	3.3	209.9	100.0	1.2	7.6	100.0	17.1	109.4	100.0	
		Mayo	6,796	100.0	97.1	2.2	152.0	100.0	1.0	6.6	100.0	11.8	80.0	100.0	
		Junio	6,192	100.0	88.5	2.0	122.6	100.0	1.3	8.2	100.0	12.0	74.3	100.0	
		Julio	7,070	100.0	101.0	2.3	159.5	100.0	1.3	9.2	100.0	13.4	95.0	100.0	
		Agosto	6,830	100.0	97.6	2.2	150.7	100.0	1.3	9.1	100.0	11.5	78.5	100.0	
		Septiembre	7,555	100.0	107.9	2.0	148.2	100.0	1.2	9.3	100.0	10.4	78.3	100.0	
		Octubre	7,883	100.0	112.6	2.1	168.3	100.0	1.1	8.8	100.0	15.2	120.2	100.0	
		Noviembre	7,368	100.0	105.3	2.0	149.3	100.0	1.0	7.5	100.0	12.6	92.9	100.0	
		Diciembre	6,302	100.0	90.0	1.5	93.8	100.0	1.8	11.2	100.0	7.3	45.7	100.0	
		Total	80,196	100.0	95.5	2.3	1,842	100.0	1.2	99.0	100.0	12.2	979.9	100.0	
	Concentrado Cu	Enero	475	9.2			29.3	139.2	88.0	20.3	9.6	85.4	115.9	55.1	91.7
		Febrero	548	9.0			29.3	160.6	91.2	2.9	1.6	75.9	120.4	66.0	88.7
		Marzo	536	8.2			25.6	137.1	89.5	13.3	7.1	86.6	117.0	62.7	88.3
		Abril	626	9.8			30.7	192.5	91.7	10.3	6.5	84.7	156.0	97.7	89.3
		Mayo	551	8.1			25.3	139.0	91.5	10.4	5.7	86.3	119.5	65.8	82.3
		Junio	396	6.4			27.7	109.7	89.5	17.2	6.8	83.4	158.9	62.9	84.6
		Julio	367	5.2			38.8	142.3	89.2	21.1	7.8	84.7	227.7	83.5	87.9
		Agosto	513	7.5			26.5	136.0	90.2	15.7	8.1	88.7	138.8	71.3	90.8
		Septiembre	422	5.6			31.5	132.8	89.6	15.5	6.6	70.6	164.6	69.4	88.7
		Octubre	434	5.5			34.7	150.4	89.4	15.8	6.8	77.9	231.1	100.2	83.4
Noviembre		470	6.4			28.4	133.5	89.4	12.7	6.0	80.2	167.3	78.7	84.7	
Diciembre		360	5.7			23.7	85.2	90.7	26.1	9.4	83.6	111.2	40.0	87.5	
Total		5,698	7.1			29.1	1,658	90.0	14.4	81.9	82.7	149.8	853.4	87.1	
Relave	Enero	4,716	90.8			0.4	18.9	12.0	0.4	1.7	14.6	1.1	5.0	8.3	
	Febrero	5,544	91.0			0.3	15.5	8.8	0.1	0.5	24.1	1.5	8.4	11.3	
	Marzo	5,967	91.8			0.3	16.1	10.5	0.2	1.1	13.4	1.4	8.3	11.7	
	Abril	5,787	90.2			0.3	17.4	8.3	0.2	1.2	15.3	2.0	11.7	10.7	
	Mayo	6,245	91.9			0.2	12.9	8.5	0.2	0.9	13.7	2.3	14.2	17.7	
	Junio	5,796	93.6			0.2	12.9	10.5	0.2	1.4	16.6	2.0	11.4	15.4	
	Julio	6,703	94.8			0.3	17.2	10.8	0.2	1.4	15.3	1.7	11.5	12.1	
	Agosto	6,316	92.5			0.2	14.8	9.8	0.2	1.0	11.3	1.1	7.2	9.2	
	Septiembre	7,133	94.4			0.2	15.4	10.4	0.4	2.7	29.4	1.2	8.9	11.3	
	Octubre	7,450	94.5			0.2	17.9	10.6	0.3	1.9	22.1	2.7	20.0	16.6	
	Noviembre	6,897	93.6			0.2	15.8	10.6	0.2	1.5	19.8	2.1	14.2	15.3	
	Diciembre	5,942	94.3			0.2	8.7	9.3	0.3	1.8	16.4	1.0	5.7	12.5	
	Total	74,498	92.9			0.2	184	10.0	0.2	17.1	17.3	1.7	126.6	12.9	

Cuadro 3-18 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1995 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			Au			Ag		
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %
1995	Alimentación	Enero	6,172	100.0	88.2	1.7	105.4	100.0	2.2	13.3	100.0	9.4	58.0	100.0
		Febrero	5,271	100.0	75.3	2.2	115.3	100.0	1.1	6.0	100.0	9.8	51.5	100.0
		Marzo	7,517	100.0	107.4	2.6	192.6	100.0	0.8	6.0	100.0	12.6	94.9	100.0
		Abril	6,674	100.0	95.3	2.3	151.1	100.0	0.6	4.3	100.0	14.9	99.6	100.0
		Mayo	5,810	100.0	83.0	2.2	127.0	100.0	1.5	8.8	100.0	23.0	133.7	100.0
		Junio	4,005	100.0	57.2	2.8	113.2	100.0	1.4	5.5	100.0	21.1	84.5	100.0
		Julio	6,514	100.0	93.1	1.9	120.6	100.0	0.7	4.7	100.0	15.0	97.6	100.0
		Agosto	6,110	100.0	87.3	1.7	106.0	100.0	1.3	8.2	100.0	12.3	75.3	100.0
		Septiembre	4,441	100.0	63.4	1.6	68.8	100.0	1.6	7.3	100.0	13.9	61.6	100.0
		Octubre	6,670	100.0	95.3	2.0	130.7	100.0	1.3	8.5	100.0	18.8	125.2	100.0
		Noviembre	5,976	100.0	85.4	2.2	129.5	100.0	1.6	9.5	100.0	19.0	113.6	100.0
		Diciembre	5,090	100.0	72.7	2.2	109.4	100.0	1.8	9.0	100.0	19.0	96.6	100.0
		Total	70,252	100.0	83.6	2.1	1,470	100.0	1.3	91.0	100.0	15.5	1,092.0	100.0
	Concentrado Cu	Enero	390	6.3		25.2	98.4	93.4	22.0	8.6	64.3	121.6	47.5	81.9
		Febrero	292	5.5		31.8	92.8	80.5	18.8	5.5	92.1	165.4	48.3	93.9
		Marzo	512	6.8		29.6	151.2	78.5	7.8	4.0	66.1	169.7	86.8	91.4
		Abril	509	7.6		26.4	134.5	89.0	5.5	2.8	65.0	193.6	98.6	99.0
		Mayo	483	8.3		25.7	124.0	97.7	13.5	6.5	74.3	238.2	115.1	86.1
		Junio	363	9.1		26.5	96.3	85.0	11.7	4.3	77.4	217.7	79.1	93.6
		Julio	429	6.6		26.6	114.1	94.6	8.7	3.7	80.3	221.8	95.1	97.5
		Agosto	420	6.9		23.5	98.8	93.2	14.2	6.0	73.0	174.0	73.0	97.0
		Septiembre	260	5.9		23.5	61.3	89.0	18.4	4.8	66.1	209.0	54.4	88.4
		Octubre	416	6.2		26.8	111.4	85.3	19.5	8.1	95.0	255.9	106.4	85.0
		Noviembre	448	7.5		27.8	124.6	96.2	18.2	8.2	85.7	195.4	87.6	77.1
		Diciembre	440	8.6		24.3	106.6	97.4	17.4	7.6	84.5	209.0	91.9	95.1
		Total	4,962	7.1		26.5	1,314	89.4	14.1	70.0	76.9	198.3	983.8	90.1
1995	Relave	Enero	5,782	93.7		0.1	7.0	6.6	0.8	4.8	35.7	1.8	10.5	18.1
		Febrero	4,979	94.5		0.5	22.5	19.5	0.1	0.5	7.9	0.6	3.1	6.1
		Marzo	7,006	93.2		0.6	41.4	21.5	0.3	2.0	33.9	1.2	8.1	8.6
		Abril	6,165	92.4		0.3	16.6	11.0	0.2	1.5	35.0	0.2	1.0	1.0
		Mayo	5,327	91.7		0.1	2.9	2.3	0.4	2.3	25.7	3.5	18.6	13.9
		Junio	3,642	90.9		0.5	17.0	15.0	0.3	1.2	22.6	1.5	5.4	6.4
		Julio	6,085	93.4		0.1	6.6	5.4	0.2	0.9	19.7	0.4	2.5	2.5
		Agosto	5,690	93.1		0.1	7.3	6.8	0.4	2.2	27.0	0.4	2.2	3.0
		Septiembre	4,181	94.1		0.2	7.6	11.0	0.6	2.5	33.9	1.7	7.2	11.6
		Octubre	6,254	93.8		0.3	19.3	14.7	0.1	0.4	5.0	3.0	18.8	15.0
		Noviembre	5,528	92.5		0.1	4.9	3.8	0.3	1.4	14.3	4.7	26.1	22.9
		Diciembre	4,651	91.4		0.1	2.8	2.6	0.3	1.4	15.5	1.0	4.7	4.9
		Total	65,290	92.9		0.2	156	10.6	0.3	21.0	23.1	1.7	108.2	9.9

Cuadro 3-19 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1996 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			Au			Ag		
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %
1996	Alimentación	Enero	3,576	100.0	51.1	2.5	89.0	100.0	1.4	4.9	100.0	24.9	89.2	100.0
		Febrero	4,197	100.0	60.0	2.1	89.4	100.0	0.9	3.9	100.0	15.9	66.9	100.0
		Marzo	3,677	100.0	52.5	2.3	85.7	100.0	1.2	4.3	100.0	20.9	76.7	100.0
		Abril	4,926	100.0	70.4	2.2	108.9	100.0	0.9	4.5	100.0	18.2	89.4	100.0
		Mayo	3,557	100.0	50.8	2.6	90.8	100.0	0.8	2.9	100.0	20.8	74.1	100.0
		Junio	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Julio	5,650	100.0	80.7	2.0	113.7	100.0	0.6	3.4	100.0	9.0	50.9	100.0
		Agosto	7,451	100.0	106.4	2.6	194.5	100.0	0.6	4.4	100.0	15.5	115.1	100.0
		Septiembre	7,073	100.0	101.0	2.8	194.5	100.0	1.2	8.7	100.0	15.2	107.7	100.0
		Octubre	7,132	100.0	101.9	2.1	150.0	100.0	0.8	5.9	100.0	9.3	66.4	100.0
		Noviembre	5,678	100.0	81.1	1.9	108.1	100.0	0.7	4.2	100.0	8.3	47.1	100.0
		Diciembre	7,580	100.0	108.3	2.0	148.7	100.0	0.4	3.1	100.0	8.2	62.0	100.0
		Total	60,498	100.0	72.0	2.3	1,373	100.0	0.8	50.2	100.0	14.0	845.4	100.0
	Concentrado Cu	Enero	295	8.2		27.5	80.9	90.9	16.4	4.8	97.7	235.1	69.2	77.6
		Febrero	348	8.3		24.9	86.5	96.7	9.8	3.4	87.2	175.8	61.1	91.4
		Marzo	308	8.4		27.7	85.2	99.4	3.7	1.1	26.1	150.3	46.2	60.3
		Abril	398	8.1		26.7	106.1	97.4	8.2	3.2	71.4	184.8	73.6	82.3
		Mayo	294	8.3		27.3	80.2	88.3	7.6	2.2	76.1	174.9	51.4	69.4
		Junio	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Julio	361	6.4		27.2	98.2	86.4	9.6	3.5	101.1	163.4	59.1	116.0
		Agosto	671	9.0		24.2	162.6	83.6	4.3	2.9	66.2	162.7	109.3	95.0
		Septiembre	685	9.7		28.1	192.4	98.9	7.3	5.0	57.4	147.4	101.0	93.7
		Octubre	584	8.2		25.4	148.4	99.0	11.9	7.0	119.1	127.2	74.3	111.8
		Noviembre	390	6.9		26.4	103.0	95.3	10.8	4.2	100.0	146.8	57.3	121.6
		Diciembre	562	7.4		25.0	140.5	94.5	7.3	4.1	133.5	131.3	73.8	119.0
		Total	4,896	8.1		26.2	1,284	93.5	8.5	41.5	82.5	158.5	776.2	91.8
	Relave	Enero	3,282	91.8		0.3	8.1	9.1	0.0	0.1	2.3	6.1	20.0	22.4
		Febrero	3,849	91.7		0.1	3.0	3.3	0.1	0.5	12.8	1.5	5.7	8.6
		Marzo	3,369	91.6		0.0	0.5	0.6	1.0	3.2	73.9	9.0	30.4	39.7
		Abril	4,528	91.9		0.1	2.8	2.6	0.3	1.3	28.6	3.5	15.8	17.7
		Mayo	3,263	91.7		0.3	10.6	11.7	0.2	0.7	23.9	7.0	22.7	30.6
		Junio	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Julio	5,289	93.6		0.3	15.5	13.6	0.0	-0.0	-1.1	-1.5	-8.2	-16.0
		Agosto	6,779	91.0		0.5	31.9	16.4	0.2	1.5	33.8	0.9	5.8	5.0
		Septiembre	6,388	90.3		0.0	2.2	1.1	0.6	3.7	42.6	1.1	6.7	6.3
		Octubre	6,549	91.8		0.0	1.5	1.0	-0.2	-1.1	-19.1	-1.2	-7.9	-11.8
		Noviembre	5,287	93.1		0.1	5.1	4.7	0.0	-0.0	0.0	-1.9	-10.2	-21.6
		Diciembre	7,018	92.6		0.1	8.2	5.5	-0.2	-1.0	-33.5	-1.7	-11.8	-19.0
		Total	55,602	91.9		0.2	89	6.5	0.2	8.8	17.5	1.2	69.2	8.2

Cuadro 3-20 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1997 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t				Cu		Au		Ag			
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	kg		
1997	Alimentación	Enero	6,470	100.0	92.4	2.1	135.9	100.0	0.5	3.1	100.0	64.5	100.0	
		Febrero	6,063	100.0	86.6	2.3	140.6	100.0	0.4	2.6	100.0	63.9	100.0	
		Marzo	6,236	100.0	89.1	2.3	141.0	100.0	0.7	4.4	100.0	79.6	100.0	
		Abril	6,205	100.0	88.6	1.9	120.2	100.0	0.3	2.1	100.0	47.0	100.0	
		Mayo	6,168	100.0	88.1	2.3	141.9	100.0	0.3	1.8	100.0	37.1	100.0	
		Junio	4,749	100.0	67.8	2.8	133.2	100.0	1.1	5.1	100.0	79.1	100.0	
		Julio	5,104	100.0	72.9	2.5	128.7	100.0	0.8	4.1	100.0	70.6	100.0	
		Agosto	6,017	100.0	86.0	2.0	118.8	100.0	0.7	4.5	100.0	57.1	100.0	
		Septiembre	5,299	100.0	75.7	2.4	127.6	100.0	0.7	3.5	100.0	70.1	100.0	
		Octubre	4,376	100.0	62.5	2.6	113.5	100.0	0.7	3.1	100.0	69.8	100.0	
		Noviembre	3,844	100.0	54.9	2.1	81.9	100.0	0.6	2.2	100.0	51.0	100.0	
		Diciembre	4,617	100.0	66.0	2.0	91.6	100.0	0.5	2.1	100.0	46.8	100.0	
		Total	65,148	100.0	77.6	2.3	1,475	100.0	0.6	38.5	100.0	736.6	100.0	
	Concentrado Cu	Enero	455	7.0		27.5	125.1	92.0	4.4	2.0	65.7	110.5	50.3	78.0
		Febrero	456	7.5		28.3	129.2	91.9	3.8	1.7	66.4	111.3	50.8	79.5
		Marzo	441	7.1		29.4	129.7	92.0	7.3	3.2	73.5	148.9	65.7	82.6
		Abril	444	7.1		24.9	110.6	92.0	3.4	1.5	70.6	91.5	40.6	86.3
		Mayo	430	7.0		32.3	139.0	97.9	2.7	1.2	65.3	73.6	31.7	85.4
		Junio	413	8.7		27.7	114.5	86.0	7.0	2.9	56.6	167.3	69.1	87.3
		Julio	462	9.1		25.7	118.6	92.2	7.6	3.5	86.0	131.5	60.8	86.1
		Agosto	392	6.5		28.0	109.6	92.2	6.3	2.5	55.0	124.0	48.6	85.0
		Septiembre	430	8.1		27.7	118.8	93.1	6.3	2.7	78.1	143.1	61.5	87.7
		Octubre	373	8.5		28.2	105.2	92.8	5.9	2.2	69.3	156.9	58.5	83.8
		Noviembre	267	7.0		28.2	75.3	92.0	5.8	1.6	70.0	160.1	42.8	84.0
		Diciembre	304	6.6		26.0	79.2	86.5	8.1	2.5	119.2	209.8	63.8	136.2
		Total	4,868	7.5		27.8	1,355	91.9	5.6	27.4	71.1	132.3	644.1	87.4
Relave	Enero	6,015	93.0		0.2	10.9	8.0	0.2	1.0	34.3	2.4	14.2	22.0	
	Febrero	5,607	92.5		0.2	11.4	8.1	0.2	0.9	33.6	2.3	13.1	20.5	
	Marzo	5,795	92.9		0.2	11.2	8.0	0.2	1.2	26.5	2.4	13.9	17.4	
	Abril	5,761	92.9		0.2	9.6	8.0	0.1	0.6	29.4	1.1	6.4	13.7	
	Mayo	5,737	93.0		0.1	2.9	2.1	0.1	0.6	34.7	0.9	5.4	14.6	
	Junio	4,336	91.3		0.4	18.7	14.0	0.5	2.2	43.4	2.3	10.1	12.7	
	Julio	4,642	90.9		0.2	10.1	7.8	0.1	0.6	14.0	2.1	9.8	13.9	
	Agosto	5,625	93.5		0.2	9.3	7.8	0.4	2.0	45.0	1.5	8.6	15.0	
	Septiembre	4,869	91.9		0.2	8.8	6.9	0.2	0.8	21.9	1.8	8.6	12.3	
	Octubre	4,003	91.5		0.2	8.2	7.2	0.2	1.0	30.7	2.8	11.3	16.2	
	Noviembre	3,577	93.0		0.2	6.6	8.0	0.2	0.7	30.0	2.3	8.2	16.0	
	Diciembre	4,313	93.4		0.3	12.4	13.5	-0.1	-0.4	-19.2	-3.9	-17.0	-36.2	
	Total	60,281	92.5		0.2	120	8.1	0.2	11.1	28.9	1.5	92.6	12.6	

Cuadro 3-21 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1998 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			Au			Ag		
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %
1998	Alimentación	Enero	3,493	100.0	49.9	1.9	65.9	100.0	0.8	2.9	100.0	10.3	36.1	100.0
		Febrero	1,777	100.0	25.4	2.1	37.8	100.0	0.4	0.7	100.0	7.4	13.1	100.0
		Marzo	2,210	100.0	31.6	1.5	33.0	100.0	0.6	1.3	100.0	3.3	7.3	100.0
		Abril	2,554	100.0	36.5	1.3	34.3	100.0	0.4	1.0	100.0	3.9	9.8	100.0
		Mayo	3,158	100.0	45.1	1.5	47.4	100.0	0.3	0.9	100.0	4.7	14.8	100.0
		Junio	2,213	100.0	31.6	3.3	73.8	100.0	0.8	1.8	100.0	25.4	56.2	100.0
		Julio	5,489	100.0	78.4	3.6	197.8	100.0	0.7	3.9	100.0	20.9	114.6	100.0
		Agosto	5,171	100.0	73.9	2.6	136.3	100.0	1.0	5.2	100.0	7.8	40.6	100.0
		Septiembre	4,690	100.0	67.0	4.5	209.4	100.0	1.4	6.6	100.0	19.9	93.2	100.0
		Octubre	3,725	100.0	53.2	4.4	162.9	100.0	0.5	2.0	100.0	17.2	64.1	100.0
		Noviembre	7,016	100.0	100.2	2.8	196.4	100.0	0.4	2.4	100.0	6.7	47.1	100.0
		Diciembre	6,137	100.0	87.7	3.3	201.9	100.0	0.7	4.0	100.0	9.1	55.6	100.0
		Total	47,632	100.0	56.7	2.9	1,397	100.0	0.7	32.7	100.0	11.6	552.4	100.0
	Concentrado Cu	Enero	239	6.8		25.3	60.4	91.7	10.4	2.5	84.6	128.3	30.6	84.9
		Febrero	129	7.2		26.4	34.0	89.9	3.7	0.5	70.5	71.0	9.1	69.9
		Marzo	130	5.9		24.4	31.7	96.0	6.6	0.9	67.7	110.4	14.4	195.7
		Abril	146	5.7		20.7	30.2	88.2	2.3	0.3	35.6	107.1	15.6	159.0
		Mayo	187	5.9		22.4	41.9	88.2	3.9	0.7	81.4	46.3	8.7	58.6
		Junio	290	13.1		21.1	61.2	83.0	4.1	1.2	66.0	131.9	38.2	68.0
		Julio	629	11.5		26.2	165.0	83.4	4.2	2.6	68.0	146.4	92.1	80.3
		Agosto	520	10.0		23.0	119.4	87.6	6.9	3.6	68.0	117.9	61.3	151.1
		Septiembre	742	15.8		24.9	185.2	88.4	6.0	4.4	66.8	86.1	63.9	68.6
		Octubre	312	8.4		45.6	142.4	87.4	16.6	5.2	258.2	283.5	88.5	138.1
		Noviembre	681	9.7		26.9	183.3	93.3	4.4	3.0	123.8	111.1	75.7	160.5
		Diciembre	688	11.2		28.7	197.0	97.6	3.7	2.5	62.6	91.3	62.8	112.9
	Relave	Total	4,692	9.9		26.7	1,252	89.6	5.8	27.4	83.7	119.5	560.8	101.5
		Enero	3,255	93.2		0.2	5.5	8.3	0.1	0.4	15.4	1.7	5.5	15.1
		Febrero	1,649	92.8		0.2	3.8	10.1	0.1	0.2	29.5	2.4	3.9	30.1
		Marzo	2,080	94.1		0.1	1.3	4.0	0.2	0.4	32.3	-3.4	-7.0	-95.7
		Abril	2,408	94.3		0.2	4.1	11.8	0.3	0.6	64.4	-2.4	-5.8	-59.0
		Mayo	2,971	94.1		0.2	5.6	11.8	0.1	0.2	18.6	2.1	6.1	41.4
		Junio	1,923	86.9		0.7	12.6	17.0	0.3	0.6	34.0	9.4	18.0	32.0
		Julio	4,860	88.5		0.7	32.8	16.6	0.3	1.2	32.0	4.6	22.5	19.7
		Agosto	4,651	90.0		0.4	16.9	12.4	0.4	1.7	32.0	-4.5	-20.7	-51.1
		Septiembre	3,947	84.2		0.6	24.3	11.6	0.6	2.2	33.2	7.4	29.3	31.4
		Octubre	3,412	91.6		0.6	20.5	12.6	-0.9	-3.2	-158.2	-7.2	-24.4	-38.1
		Noviembre	6,335	90.3		0.2	13.2	6.7	-0.1	-0.6	-23.8	-4.5	-28.5	-60.5
		Diciembre	5,449	88.8		0.1	4.9	2.4	0.3	1.5	37.4	-1.3	-7.2	-12.9
		Total	42,940	90.1		0.3	145	10.4	0.1	5.3	16.3	-0.2	-8.4	-1.5

Cuadro 3-22 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 1999 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			Au			Ag		
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %
1999	Alimentación	Enero	5,540	100.0	79.1	2.3	127.8	100.0	0.1	0.7	100.0	1.2	6.5	100.0
		Febrero	4,334	100.0	61.9	1.7	74.9	100.0	0.3	1.3	100.0	0.0	0.0	0.0
		Marzo	5,686	100.0	81.2	1.6	91.4	100.0	0.2	0.9	100.0	1.9	10.9	100.0
		Abril	5,225	100.0	74.6	1.5	80.5	100.0	0.2	0.9	100.0	2.4	12.4	100.0
		Mayo	2,168	100.0	31.0	2.1	45.5	100.0	0.0	0.1	100.0	2.4	5.1	100.0
		Junio	3,221	100.0	46.0	2.1	67.6	100.0	0.0	0.0	100.0	2.8	9.0	100.0
		Julio	3,978	100.0	56.8	2.1	84.1	100.0	0.0	0.0	100.0	3.1	12.4	100.0
		Agosto	1,978	100.0	28.3	2.0	40.1	100.0	-0.1	-0.1	100.0	3.7	7.3	100.0
		Septiembre	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Octubre	3,442	100.0	49.2	1.7	58.9	100.0	0.3	0.9	100.0	3.5	11.9	100.0
		Noviembre	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Diciembre	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Total	35,572	100.0	42.3	1.9	671	100.0	0.1	4.6	100.0	2.1	75.4	100.0
	Concentrado Cu	Enero	507	9.2		23.2	117.7	92.1	3.6	1.8	262.6	73.7	37.4	574.3
		Febrero	308	7.1		22.3	68.8	91.8	5.5	1.7	129.1	76.0	23.4	-----
		Marzo	348	6.1		22.4	78.0	85.3	2.5	0.9	102.9	67.6	23.5	216.2
		Abril	341	6.5		21.4	72.9	90.5	2.7	0.9	105.2	93.0	31.7	256.3
		Mayo	202	9.3		21.2	42.8	94.0	2.5	0.5	752.2	96.0	19.4	378.2
		Junio	305	9.5		21.0	64.1	94.9	2.3	0.7	10200.0	95.6	29.2	323.9
		Julio	334	8.4		21.5	72.0	85.6	2.4	0.8	3631.8	128.8	43.0	346.8
		Agosto	164	8.3		22.5	36.8	91.8	1.7	0.3	-218.6	95.6	15.6	215.6
		Septiembre	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Octubre	239	7.0		21.9	52.4	89.1	2.4	0.6	66.5	100.4	24.0	202.5
		Noviembre	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Diciembre	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Total	2,749	7.7		22.0	605	90.3	3.0	8.2	179.8	90.0	247.3	327.8
	Relave	Enero	5,033	90.8		0.2	10.0	7.9	-0.2	-1.1	-162.6	-6.1	-30.9	-474.3
		Febrero	4,026	92.9		0.2	6.2	8.2	-0.1	-0.4	-29.1	-5.8	-23.4	-----
		Marzo	5,338	93.9		0.3	13.5	14.7	0.0	-0.0	-2.9	-2.4	-12.7	-116.2
		Abril	4,884	93.5		0.2	7.6	9.5	0.0	-0.0	-5.2	-4.0	-19.4	-156.3
		Mayo	1,966	90.7		0.1	2.7	6.0	-0.2	-0.4	-652.2	-7.3	-14.3	-278.2
		Junio	2,916	90.5		0.1	3.5	5.1	-0.2	-0.7	-10100.0	-6.9	-20.2	-223.9
		Julio	3,643	91.6		0.3	12.1	14.4	-0.2	-0.8	-3531.8	-8.4	-30.6	-246.8
		Agosto	1,814	91.7		0.2	3.3	8.2	-0.2	-0.4	318.6	-4.6	-8.4	-115.6
		Septiembre	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Octubre	3,203	93.0		0.2	6.4	10.9	0.1	0.3	33.5	-3.8	-12.2	-102.5
		Noviembre	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Diciembre	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Total	32,823	92.3		0.2	65	9.7	-0.1	-3.6	-79.8	-5.2	-171.9	-227.8

Cuadro 3-23 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 2000 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			Au			Ag		
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %
2000	Alimentación	Enero	4,968	100.0	71.0	2.1	106.5	100.0	0.1	0.5	100.0	6.8	33.6	100.0
		Febrero	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Marzo	6,575	100.0	93.9	1.7	110.8	100.0	0.2	1.0	100.0	1.9	12.8	100.0
		Abril	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Mayo	5,584	100.0	79.8	1.6	89.5	100.0	0.1	0.7	100.0	2.3	12.7	100.0
		Junio	3,135	100.0	44.8	1.9	59.7	100.0	0.1	0.4	100.0	7.3	22.8	100.0
		Julio	3,706	100.0	52.9	1.5	57.1	100.0	0.2	0.9	100.0	1.6	6.1	100.0
		Agosto	4,256	100.0	60.8	1.8	75.2	100.0	0.4	1.6	100.0	3.1	13.1	100.0
		Septiembre	3,614	100.0	51.6	1.7	60.9	100.0	0.3	1.2	100.0	0.4	1.6	100.0
		Octubre	5,463	100.0	78.0	1.5	79.1	100.0	1.0	5.4	100.0	2.3	12.3	100.0
		Noviembre	5,685	100.0	81.2	1.5	87.8	100.0	0.4	2.1	100.0	3.3	18.6	100.0
		Diciembre	4,433	100.0	63.3	1.9	84.3	100.0	0.3	1.1	100.0	7.6	33.7	100.0
		Total	47,418	100.0	56.4	1.7	81.1	100.0	0.3	14.9	100.0	3.5	167.1	100.0
	Concentrado Cu	Enero	437	8.8		21.6	94.3	88.5	1.1	0.5	87.5	98.0	42.8	127.3
		Febrero	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Marzo	419	6.4		22.6	94.6	85.4	1.0	0.4	40.3	90.3	37.8	296.0
		Abril	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-----	0.0	4.7	-----
		Mayo	342	6.1		22.5	76.9	85.9	1.3	0.4	60.0	69.3	23.7	187.2
		Junio	233	7.4		22.4	52.3	87.7	0.9	0.2	46.7	84.6	19.8	86.8
		Julio	219	5.9		22.6	49.4	86.5	0.4	0.1	10.1	99.4	21.7	358.0
		Agosto	278	6.5		22.5	62.5	83.1	2.2	0.6	38.5	50.5	14.0	107.2
		Septiembre	225	6.2		21.8	49.1	80.7	0.9	0.2	16.6	110.9	25.0	1578.7
		Octubre	283	5.2		22.4	63.3	80.0	8.5	2.4	44.1	86.6	24.5	198.5
		Noviembre	320	5.6		21.6	69.1	78.7	3.1	1.0	48.1	80.1	25.6	138.0
		Diciembre	313	7.1		23.0	72.1	85.5	1.4	0.4	38.5	100.3	31.4	93.0
		Total	3,068	6.5		22.3	684	84.3	2.0	6.3	42.1	88.3	270.9	162.1
Relave		Enero	4,531	91.2		0.3	12.2	11.5			0.0			0.0
		Febrero	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Marzo	6,156	93.6		0.3	16.2	14.6			0.0			0.0
		Abril	0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Mayo	5,241	93.9		0.2	12.6	14.1			0.0			0.0
		Junio	2,902	92.6		0.3	7.4	12.3			0.0			0.0
		Julio	3,487	94.1		0.2	7.7	13.5			0.0			0.0
		Agosto	3,978	93.5		0.3	12.7	16.9			0.0			0.0
		Septiembre	3,389	93.8		0.4	11.8	19.3			0.0			0.0
		Octubre	5,180	94.8		0.3	15.8	20.0			0.0			0.0
		Noviembre	5,365	94.4		0.4	18.7	21.3			0.0			0.0
		Diciembre	4,120	92.9		0.3	12.2	14.5			0.0			0.0
		Total	44,350	93.5		0.3	127	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Cuadro 3-24 Resultados de Procesamiento de Sulfuros en 2001 Planta Ovalle, ENAMI

*1: Tasa de operación sobre la capacidad instalada (7,000t/month: 84,000t/year)

Año	Producto	Mes	Tratamiento crudo t			Cu			Au			Ag			
			t	distrib. %	Tasa*1 %	ley %	t	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	ley g/t	kg	distrib. %	
2001	Alimentación	Enero	4,410	100.0	63.0	1.8	79.5	100.0	0.3	1.2	100.0	7.1	31.2	100.0	
		Febrero	3,002	100.0	42.9	1.8	53.1	100.0	0.2	0.7	100.0	5.2	15.5	100.0	
		Marzo	5,509	100.0	78.7	1.7	92.9	100.0	0.3	1.6	100.0	2.7	15.1	100.0	
		Abril	5,593	100.0	79.9	1.7	96.7	100.0	0.3	1.6	100.0	0.8	4.3	100.0	
		Mayo	4,378	100.0	62.5	2.3	102.2	100.0	0.4	1.7	100.0	0.5	2.1	100.0	
		Junio		100.0	0.0				100.0			100.0			100.0
		Julio		100.0	0.0				100.0			100.0			100.0
		Agosto		100.0	0.0				100.0			100.0			100.0
		Septiembre		100.0	0.0				100.0			100.0			100.0
		Octubre		100.0	0.0				100.0			100.0			100.0
		Noviembre		100.0	0.0				100.0			100.0			100.0
		Diciembre		100.0	0.0				100.0			100.0			100.0
		Total	22,892	100.0	65.4	1.9	424	100.0	0.3	6.8	100.0	3.0	68.2	100.0	
	Concentrado Cu	Enero	284	6.4		23.1	65.4	82.3	1.5	0.4	35.9	102.7	29.1	93.2	
		Febrero	192	6.4		22.6	43.3	81.5	1.0	0.2	25.9	92.3	17.7	114.5	
		Marzo	363	6.6		21.4	77.8	83.7	1.0	0.4	23.9	91.2	33.1	219.5	
		Abril	483	8.6		20.7	100.1	103.6	1.3	0.6	39.6	85.6	41.3	962.8	
		Mayo	388	8.9		23.3	90.5	88.5	2.0	0.8	44.2	119.5	46.3	2,158.8	
		Junio		#DIV/0!				#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!	
		Julio		#DIV/0!				#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!	
		Agosto		#DIV/0!				#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!	
		Septiembre		#DIV/0!				#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!	
		Octubre		#DIV/0!				#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!	
		Noviembre		#DIV/0!				#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!	
		Diciembre		#DIV/0!				#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!	
Total	1,709	7.5	22.1	377	88.9	1.4	2.4	35.1	98.0	167.6	245.6				
Relave	Enero	4,126	93.6	0.3	14.1	17.7	0.2	0.8	64.1	0.5	2.1	6.8			
	Febrero	2,810	93.6	0.4	9.8	18.5	0.2	0.5	74.1	-0.8	-2.2	-14.5			
	Marzo	5,145	93.4	0.3	15.1	16.3	0.2	1.2	76.1	-3.5	-18.0	-119.5			
	Abril	5,111	91.4	-0.1	-3.4	-3.6	0.2	1.0	60.4	-7.2	-37.0	-862.8			
	Mayo	3,990	91.1	0.3	11.7	11.5	0.2	1.0	55.8	-11.1	-44.2	-2058.8			
	Junio		#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			
	Julio		#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			
	Agosto		#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			
	Septiembre		#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			
	Octubre		#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			
	Noviembre		#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			
	Diciembre		#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			
	Total	21,182	92.5	0.2	47	11.1	0.2	4.4	64.9	-4.7	-99.3	-145.6			

Cuadro 3-26 Resultados de Tasas de Operación para Procesamiento de Sulfuros en Planta Ovalle, ENAMI

Nota Tasa de operación (7,000t/mes: 84,000t/año)

Precio Cu Metálico: LME Grade A Settlement (Original: ~93.6: £ /MT, 93.7~: \$/MT)

Año	Producto	Mes	Tonelaje Crudo		Cu		Cu Metal LME ¢ /lb
			t	Tasa %	Ley %	t	
1994	Tasa Operación	Enero	5,191	74.2	3.1	158.1	81.89
		Febrero	6,092	87.0	2.9	176.1	84.12
		Marzo	6,503	92.9	2.4	153.2	86.86
		Abril	6,414	91.6	3.3	209.9	85.36
		Mayo	6,796	97.1	2.2	152.0	97.55
		Junio	6,192	88.5	2.0	122.6	107.24
		Julio	7,070	101.0	2.3	159.5	111.50
		Agosto	6,830	97.6	2.2	150.7	109.15
		Septiembre	7,555	107.9	2.0	148.2	113.67
		Octubre	7,883	112.6	2.1	168.3	115.52
		Noviembre	7,368	105.3	2.0	149.3	127.03
		Diciembre	6,302	90.0	1.5	93.8	135.35
		Total	80,196	95.5	2.3	1,842	104.60
1995	Tasa Operación	Enero	6,172	88.2	1.7	105.4	136.48
		Febrero	5,271	75.3	2.2	115.3	130.53
		Marzo	7,517	107.4	2.6	192.6	132.63
		Abril	6,674	95.3	2.3	151.1	131.70
		Mayo	5,810	83.0	2.2	127.0	125.80
		Junio	4,005	57.2	2.8	113.2	135.84
		Julio	6,514	93.1	1.9	120.6	139.51
		Agosto	6,110	87.3	1.7	106.0	137.75
		Septiembre	4,441	63.4	1.6	68.8	132.25
		Octubre	6,670	95.3	2.0	130.7	127.62
		Noviembre	5,976	85.4	2.2	129.5	135.05
		Diciembre	5,090	72.7	2.2	109.4	132.73
		Total	70,252	83.6	2.1	1,470	133.16
1996	Tasa Operación	Enero	3,576	51.1	2.5	89.0	118.68
		Febrero	4,197	60.0	2.1	89.4	115.11
		Marzo	3,677	52.5	2.3	85.7	116.17
		Abril	4,926	70.4	2.2	108.9	117.74
		Mayo	3,557	50.8	2.6	90.8	120.58
		Junio	0	0.0	0.0	0.0	90.27
		Julio	5,650	80.7	2.0	113.7	90.06
		Agosto	7,451	106.4	2.6	194.5	91.11
		Septiembre	7,073	101.0	2.8	194.5	88.06
		Octubre	7,132	101.9	2.1	150.0	88.96
		Noviembre	5,678	81.1	1.9	108.1	101.19
		Diciembre	7,580	108.3	2.0	148.7	102.88
		Total	60,498	72.0	2.3	1,373	104.09
1997	Tasa Operación	Enero	6,470	92.4	2.1	135.9	110.45
		Febrero	6,063	86.6	2.3	140.6	109.13
		Marzo	6,236	89.1	2.3	141.0	109.83
		Abril	6,205	88.6	1.9	120.2	108.46
		Mayo	6,168	88.1	2.3	141.9	114.05
		Junio	4,749	67.8	2.8	133.2	118.51
		Julio	5,104	72.9	2.5	128.7	111.15
		Agosto	6,017	86.0	2.0	118.8	102.11
		Septiembre	5,299	75.7	2.4	127.6	95.59
		Octubre	4,376	62.5	2.6	113.5	93.09
		Noviembre	3,844	54.9	2.1	81.9	86.97
		Diciembre	4,617	66.0	2.0	91.6	79.94
		Total	65,148	77.6	2.3	1,475	103.27

Año	Producto	Mes	Tonelaje Crudo		Cu		Cu Metal
			t	Tasa %	Ley %	t	LME ¢ /lb
1998	Tasa Operación	Enero	3,493	49.9	1.9	65.9	76.59
		Febrero	1,777	25.4	2.1	37.8	75.51
		Marzo	2,210	31.6	1.5	33.0	79.29
		Abril	2,554	36.5	1.3	34.3	81.69
		Mayo	3,158	45.1	1.5	47.4	78.58
		Junio	2,213	31.6	3.3	73.8	75.32
		Julio	5,489	78.4	3.6	197.8	74.89
		Agosto	5,171	73.9	2.6	136.3	73.52
		Septiembre	4,690	67.0	4.5	209.4	74.74
		Octubre	3,725	53.2	4.4	162.9	71.96
		Noviembre	7,016	100.2	2.8	196.4	71.39
		Diciembre	6,137	87.7	3.3	201.9	66.84
		Total	47,632	56.7	2.9	1,397	75.05
1999	Tasa Operación	Enero	5,540	79.1	2.3	127.8	64.92
		Febrero	4,334	61.9	1.7	74.9	63.99
		Marzo	5,686	81.2	1.6	91.4	62.52
		Abril	5,225	74.6	1.5	80.5	66.50
		Mayo	2,168	31.0	2.1	45.5	68.55
		Junio	3,221	46.0	2.1	67.6	64.52
		Julio	3,978	56.8	2.1	84.1	74.39
		Agosto	1,978	28.3	2.0	40.1	74.74
		Septiembre	0	0.0	0.0	0.0	79.39
		Octubre	3,442	49.2	1.7	58.9	78.21
		Noviembre	0	0.0	0.0	0.0	78.36
		Diciembre	0	0.0	0.0	0.0	80.05
		Total	35,572	42.3	1.9	671	71.34
2000	Tasa Operación	Enero	4,968	71.0	2.1	106.5	83.64
		Febrero	0	0.0	0.0	0.0	81.69
		Marzo	6,575	93.9	1.7	110.8	78.90
		Abril	0	0.0	0.0	0.0	76.15
		Mayo	5,584	79.8	1.6	89.5	80.99
		Junio	3,135	44.8	1.9	59.7	79.52
		Julio	3,706	52.9	1.5	57.1	81.62
		Agosto	4,256	60.8	1.8	75.2	84.18
		Septiembre	3,614	51.6	1.7	60.9	88.92
		Octubre	5,463	78.0	1.5	79.1	86.12
		Noviembre	5,685	81.2	1.5	87.8	81.43
		Diciembre	4,433	63.3	1.9	84.3	83.94
		Total	47,418	56.4	1.7	811	82.26
2001	Tasa Operación	Enero	4,410	63.0	1.8	79.5	81.08
		Febrero	3,002	42.9	1.8	53.1	80.09
		Marzo	5,509	78.7	1.7	92.9	78.87
		Abril	5,593	79.9	1.7	96.7	75.49
		Mayo	4,378	62.5	2.3	102.2	73.30
		Total	22,892	65.4	1.9	424	76.97

Cuadro 3-28 Objetivos para el Procesamiento de Minerales Sulfurados de Cu: Planta Ovalle, ENAMI

		Año objetivo	Año 2000	Años 1994~2000	Dif.: X - Y	Medidas
		Objetivo: X	Resultado: Y	Resultados		o factores externos esperados (◇)
1. Tasa uso capacidad instalada: RCU	%	90.0	56.4	42.3~95.5: Prom.69.2	+33.6	1) Incentive para proveedores de minerales a ENAMI
(1) Tonelaje mineral (ley de Cu)	t/año (Cu-%)	75,600 (idem der.)	47,418 (1.7)	35,572~80,196: Prom.58,128 (1.7~2.9: Prom.2.2)	+28,182 (±0)	2) Explotación de minas por ENAMI
(2) Capacidad	t/año	84,000	84,000	84,000	±0	3) Disminución de ley de corte del mineral
2. Tasa recuperación						
(1) Cobre	%	91.0	84.3	84.3~93.5: Prom.89.9	+5.7	1) Adopción de circuito óptimo de molienda
(2) Oro	%	---	42.1	42.1~179.8?: Prom.88.4	---	2) Increm. tiempo flotac. / aumento densidad pulpa
(3) Plata	%	---	162.1?	87.1~327.8?: Prom.135.4?	---	(idem)
3. Producto: concentrado Cu						
(1) Cantidad concentrado Cu	t/año	Calculado 3,898	3,068	2,749~5,698: Prom.4,419	+788	1) Mejoram. circuito limpieza, adopción remolienda
(2) Ley y cantidad Cu	%	30.0	22.3	22.0~29.1: Prom.26.4	+7.7	2) Adopción de celdas tipo columna en limpieza
(3) Ley y cantidad Au	t/año	Calculado 1,170	684	605~1,658: Prom.1,165	+473	
(4) Ley y cantidad Ag	g/t	---	2.0	2.0~14.4: Prom.8.5	---	(idem)
	kg/año	---	6.3	6.3~81.9: Prom.37.5	---	
	g/t	---	88.3	88.3~198.3: Prom.140.2	---	(idem)
	kg/año	---	270.9	247.3~983.8: Prom.619.5	---	
4. Ingreso [A]: estimado (*1)	US\$/año	1,015,368~951,003	493,362		+522,006~+457,641	desde ENAMI
5. Costo producción [B]	US\$/año	1,204,308	795,200		+409108	
(1) Costo unitario producción	US\$/t crudo (¢ /prod.Cu-lb)	15.93 (Calculado 47.2)	16.77 (Calculado 52.7)		-0.84 (-5.5)	1) Reducción de costos en 5% en cada ítem
6. Utilidad bruta [A - B]	US\$/año	-188,940~-253,305	-301,838		+112,898~+48,533	
< Incremento monetario >	US\$/año	+280,326~+277,922				

Note *1: Proporción (①+②) del tonelaje de procesamiento: Objetivo [hipotético] ① 60~30% en caso de abastecimiento a tarifa, ② 40~70% en caso de abastecimiento con contrato especial, Resultado de Feb. 2000: ① 50%, ② 50%

3.3 Diagnóstico del Medio Ambiente

3.3.1 Objetivo

El objetivo del estudio de la situación del medio ambiente (agua, suelo y aire) en los alrededores de la planta Ovalle, consiste en reconocer los orígenes de los problemas de contaminación.

Se ha reconocido la siguiente situación como resultado de los estudios, sin embargo, se requiere continuar la recolección de datos y realizar sus correspondientes interpretaciones.

3.3.2 Hidrología y Calidad de Agua

Tal como se describió en el Informe de Avances (septiembre 2000) del presente estudio, el estero El Ingenio se encuentra bordeando el margen oriental de la planta, fluyendo hacia el sudoeste para confluir con el río Limarí 40km aguas abajo (Ver Figura 3-9). Próximo a la planta (margen izquierdo del estero) existe un manantial que sirve como una de las pocas fuentes de agua potable en la zona.

Las precipitaciones pluviales de esta región montañosa de 600 a 1,000m de altura, oscilan entre 80 y 100mm/año; razón por la cual, se observa poca vegetación. Los valles y quebradas se presentan secos fuera de las estaciones de lluvias.

3.3.3 Resultados de Monitoreo de Aguas

Se han establecido los siguientes 9 puntos de monitoreo de calidad y caudal de aguas en los alrededores de la planta.

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Con la finalidad de realizar la evaluación del impacto ambiental, la contraparte chilena analiza mensualmente las muestras tomadas en estos puntos de monitoreo. En los Cuadros 3-29 al 3-55 se muestran los resultados de los análisis realizados entre diciembre de 1999 y febrero de 2002. (Para los puntos M-4A y M-4B a partir de marzo del 2000.)



Figura 3-9 Mapa de Alrededores de la Planta Ovalle

La calidad de aguas en los puntos M-1, M-2 y M-3 que se encuentran aguas arriba, son estables durante todo el año. Además, sobre los datos de la concentración de Fe-T en los puntos M-1, M-2 y M-3, se supo que no eran problemáticos debido a que todos estuvieron entre 0 y 0.3 (por debajo de los valores estándar). (Ver Figura 3-10). Siendo alta la concentración del ión cloruro del punto M-2 (manantial), infiriéndose que debe ser la influencia de esterilizadores clorados

De los puntos M-4, M-4A y M-4B que son considerados fuentes de contaminación, particularmente M-4 (solución de descarte) presenta alta inestabilidad de calidad de aguas, con valores de concentración de Fe-T, que se constituye como catalizador de las bacterias *Thiobacillus ferrooxidans*, oscilan entre 9 y 39g/L. Este factor es de suma importancia para el planeamiento de operaciones a futuro. (Ver Figura 3-11). Esta situación se debe a la inestabilidad en la tasa de operación del procesamiento de minerales óxidos de cobre por el déficit de abastecimiento de minerales crudos. Este factor es de suma importancia para el mantenimiento de la actividad considerando las operaciones de la planta de tratamiento bacteriano.

Asimismo, en cuanto a las infiltraciones en M-4A y M-4B; se infiere que M-4A es una mezcla con M-4 y otras corrientes de agua circundante, y M-4B es una mezcla con corrientes de agua circundante exceptuándose el M-4.

En cuanto a los puntos M-5, M-6 y M-7; durante los meses de abril a septiembre que corresponde a la estación de lluvias, las concentraciones de los componentes son diluidas; sin embargo, los puntos M-5 (500m aguas abajo de la planta) y M-6 (2km aguas abajo) superan los valores estándares de concentración de Fe-T, Cu, Al, Mn y SO_4^{2-} durante todo el año. Asimismo, los valores de Fe-T, Cu, Al, Mn y SO_4^{2-} en el punto M-7 (5km aguas abajo de la planta) se encuentran por debajo de los estándares, debido a la capacidad de asimilación natural del estero. (Ver Figura 3-12)

3.3.4 Medidas de Prevención de la Contaminación

(1) Estándares de Emisión / Normas de Calidad de Aguas para Riego

Cuadro 3-56 Estándares de Emisión de Residuos Líquidos / Normas de Calidad de Agua de Riego
(Relacionados a la Actividad Minera)

Parámetro Estandarizado	Unidad	Norma para el caso de emisión a alcantarillado	Norma para emisiones líquidas					Normas de Calidad de Agua de Riego
			(1) Emisión a ríos	(2) Emisión a ríos con capacidad de dilución	(3) Emisión a lagos	(4) Emisión a litorales protegidos	(5) Emisión a litorales no protegidos	
pH		5.5–9.0	6.0–8.5	6.0–8.5	6.0–8.5	6.0–9.0	5.5–9.0	5.5–9.0
Temperatura	°C	35	35	40	30	30	-	-
Sólidos totales	mg/L	300	80	300	80	100	700	-
Sólidos en suspensión	ml/L 1h	20	-	-	5	5	50	-
Al	mg/L	10	5	10	1	1	10	5
As	mg/L	0.5	0.5	1	0.1	0.2	0.5	0.1
B	mg/L	4	0.75	3	-	-	-	0.75
Cd	mg/L	0.5	0.01	0.3	0.02	0.02	0.5	0.01
CN ⁻	mg/L	1	0.2	1	0.5	0.5	1	0.2
Cl ⁻	mg/L	-	400	2,000	-	-	-	200
Cu	mg/L	3	-	-	-	1	3	0.2
Cu-T	mg/L	-	1	3	0.1	-	-	-
Cr-T	mg/L	10	-	-	2.5	2.5	10	0.2
Cr ⁶⁺	mg/L	0.5	0.05	0.2	0.2	0.2	0.5	-
Sn	mg/L	-	-	-	0.5	0.5	1	-
F	mg/L	-	1.5	5	1	1.5	6	1
Fe	mg/L	-	5	10	2	10	-	5
Mn	mg/L	4	0.3	3	0.5	2	4	0.2
Hg	mg/L	0.02	0.001	0.01	0.005	0.005	0.02	0.001
Mo	mg/L	-	1	2.5	0.07	0.1	0.5	0.01
Ni	mg/L	4	0.2	3	0.5	2	4	0.2
Pb	mg/L	1	0.05	0.5	0.2	0.2	1	5
Se	mg/L	-	0.01	0.1	0.01	0.01	0.03	0.02
SO ₄ ²⁻	mg/L	1,000	1,000	2,000	1,000	-	-	250
S ²⁻	mg/L	5	1	10	1	1	5	-
Zn	mg/L	5	3	20	5	5	5	2

En marzo de 2001 se publicó la norma de emisiones líquidas en el diario oficial conteniendo “los estándares para efluentes líquidos emitidos a cuerpos de agua con capacidad de dilución”. Sin embargo, aun no se define si los efluentes de la planta Ovalle serían regulados mediante esta norma ó la norma relacionada a emisiones subterráneas próxima a promulgarse.

En efecto, se otorga un plazo de adecuación de 5 años para el cumplimiento de los estándares de emisión para los efluentes líquidos de actividades existentes como la planta Ovalle, es decir, la aplicación de los mismos sería a partir del 2006.

Asimismo, comparando la calidad de aguas del estero El Ingenio, aguas abajo de la planta Ovalle con las normas de calidad de aguas de riego, se observa que los valores en M-5 (500m aguas abajo de la planta) y M-6 (2km aguas abajo de la planta) superan los valores para Fe-T, Cu,

Al, Mn, Zn, Cd y SO_4^{2-} ; y en M-7 (5km aguas abajo de la planta) en los parámetros Mn y SO_4^{2-} . Es decir, se consideran que no son aptas para su uso en riego. (Ver Figura 3-12)

(2) Medidas de Prevención de Contaminación de Aguas

Es posible estimar la carga del efluente al estero El Ingenio mediante la diferencia de cargas de Fe-T entre los puntos M-1 (aguas arriba de la planta) y M-5 (500m aguas abajo de la planta), estimadas en el Cuadro 3-57. (Ver Figura 3-13).

Cuadro 3-57 Cálculo de Carga de Infiltraciones

	Fe ^T [mg/s] (M-5)-(M-1)	M-4	
		Fe ^T [mg/L]	Q [L/s]
Diciembre 99	39,088	29,550	1.32
Enero 2000	28,164	17,240	1.63
Febrero	44,379	-	-
Marzo	52,784	39,290	1.34
Abril	35,989	37,040	0.97
Mayo	84,746	25,340	3.34
Junio	87,145	24,830	3.51
Julio	34,820	14,570	2.39
Agosto	30,741	18,670	1.65
Septiembre	91,931	15,100	6.09
Octubre	56,415	11,140	5.06
Noviembre	30,871	16,000	1.93
Diciembre	20,256	19,590	1.03
Enero 2001	21,970	18,660	1.18
Febrero	22,245	28,620	0.78
Marzo	24,889	25,600	0.97
Abril	28,220	25,000	1.13
Mayo	81,895	14,390	5.69
Junio	3,130	15,000	0.21
Julio	33,741	23,470	1.44
Agosto	10,041	9,800	1.02
Septiembre	7,772	15,400	0.50
Octubre	16,559	17,110	0.97
Noviembre	33,970	12,150	2.80
Diciembre	60,910	10,700	5.69
Enero 2002	56,455	15,000	3.76
Febrero	127,686	18,000	7.09

Se infiere que el volumen de efluentes infiltrados hacia el cauce el estero El Ingenio desde la planta Ovalle, depende de la tasa de operaciones (RCU: *Rate of capacity utilization*) del procesamiento de minerales óxidos de cobre y las precipitaciones pluviales; estimándose que alcanzan valores tan altos como 3 – 7L/seg y siendo el nivel normal de 1L/seg.

Asimismo, los materiales contaminantes que superan los valores estándares descritos arriba son: Fe, Cu, Al, Mn, As, Zn, Cd y SO_4^{2-} en M-4 (solución de descarte); Fe, Cu, Al, Mn, Zn, Cd y SO_4^{2-} en M-4A (infiltración A); y, Cu, Al, Mn, Zn, SO_4^{2-} en M-4B (infiltración B).

Además, siendo las normas de calidad de aguas para riego, valores más exigentes, en M-5 (500m aguas abajo de la planta) y M-6 (2km aguas abajo de la planta) superan los valores correspondientes a los parámetros Fe, Cu, Al, Mn, Zn, Cd y SO_4^{2-} ; y en M-7 los parámetros Mn y SO_4^{2-} .

Si bien no se conoce con exactitud las rutas de drenaje de estos contaminantes (M-4A y M-4B) entre la parte inferior de la poza de evaporación y el estero El Ingenio, las infiltraciones son evidentes. De entre ellas, M-4B correspondería a efluentes de la planta con relativo bajo grado de contaminación, y M-4A, la mayor fuente de contaminación originada por M-4 (solución de descarte) contenido en las pozas de evaporación.

En consecuencia, se deberán analizar y ejecutar los planes de prevención de esta contaminación que genera la planta Ovalle, hasta la entrada en vigencia de la norma que será en el 2006.

- ① Impermeabilización de las pozas de evaporación: se deberá prevenir la infiltración de los efluentes de planta, colocando capas impermeables como lonas de HDPE (*High Density Poly-Ethylene*) en el interior de las pozas de evaporación.
- ② Refacción de la estructura de los muros de contención de las pozas de evaporación: se deberá asegurar la estabilidad de los muros de contención, refaccionando las partes colapsadas y deterioradas por la erosión.
- ③ Acondicionamiento de los alrededores de las pozas de sedimentación: ordenamiento, cobertura y vegetación de los sedimentos de la solución de descarte en las pozas de sedimentación.
- ④ Instalación de canales: prevención del drenaje de agua meteórica y otras hacia el interior de las pozas de sedimentación, instalando canales en los bordes de las pozas de sedimentación.
- ⑤ Verificación de la estabilidad de los precipitados de neutralización: se deberá verificar la estabilidad de los precipitados de neutralización, mediante pruebas de solubilidad y reológicas.

(3) Medidas para la Prevención de Contaminación de Suelos

Como contaminación de suelos en los alrededores de la planta Ovalle se tienen, sedimentos con contenido de hierro y metales pesados acumulados en la cuenca del estero El Ingenio, rípios de lixiviación, relaves de flotación y otras partículas. Especialmente, los sedimentos con alto contenido de hierro (hidróxido de hierro) se extienden ampliamente hasta el punto M-7 (5km aguas abajo).

En adelante, al ser tratado en su totalidad la solución de descarte de lixiviación, la contaminación de suelos aguas abajo no aumentaría; y aunque tomará tiempo, se espera que los

sedimentos naturales de arrastre de las aguas del estero, se irán acumulando paulatinamente hasta cubrir los contaminantes en su totalidad.

La evacuación de los sedimentos contaminantes acumulados a la fecha, es una operación que implica costos extremadamente altos e inversión de gran cantidad de tiempo. Por otro lado, al no haber afectados directos en la población aledaña, se recomienda una solución pasiva esperando los efectos de rehabilitación natural.

(4) Medidas para la Prevención de Contaminación Atmosférica

Como factores de contaminación atmosférica en los alrededores de la planta Ovalle se podrían considerar los polvos generados en el proceso de conminución, neblina de ácido sulfúrico, sedimentos de las pozas de evaporación y los precipitados de neutralización.

Se deben prevenir la volatilización de estas partículas debido a que en las proximidades de la planta existen plantaciones de uva para vinos. Como medidas de prevención se cuentan las siguientes.

- Prevención de generación de polvo mediante aspersión de agua en las operaciones de chancado, aglomeración y transporte.
- Prevención de generación de neblina ácida mediante colocación de mallas sobre las pilas de lixiviación.
- Ordenamiento, cobertura y vegetación sobre rípios de lixiviación, relaves de flotación, sedimentos de evaporación y precipitados de neutralización.

A continuación se muestra las normas de calidad y estándares de emisión (concentraciones máximas permisibles) atmosféricas.

(Normas primarias: normas para la protección de la salud humana)

Polvos en suspensión	Concentración promedio diario calculado	150 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Gases de anhídrido sulfuroso	Concentración promedio anual calculado	80 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
	Concentración promedio diario calculado	365 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

(Normas secundarias: normas para la protección de la fauna, flora y recursos naturales renovables)

a. Regiones hacia el norte de Santiago

Gases de anhídrido sulfuroso	Concentración promedio anual calculado	80 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
	Concentración promedio diario calculado	365 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
	Concentración máxima horaria registrada	1,000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

b. Regiones hacia el sur de Santiago

Gases de anhídrido sulfuroso	Concentración promedio anual calculado	60 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
	Concentración promedio diario calculado	260 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
	Concentración máxima horaria registrada	700 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

* Estas normas no son aplicables para la Región Metropolitana de Santiago ni para zonas industriales especiales. Para éstas se establecen normas específicas. Además, en cuanto a polvos, la norma la establece aparte el Ministerio de Agricultura.

(Estándares de Emisión)

a. Gases Sulfurosos y Polvos

No se trata de una norma integral, sino que establece valores máximos de concentraciones zonales para gases de anhídrido sulfuroso y polvos, de modo que no se superen las normas ambientales.

b. Arsénico

En cuanto a los gases de anhídrido sulfuroso y polvos suspendidos, las normas se establecieron mediante el Decreto 185 del Ministerio de Minería del año 1992; sin embargo, las normas referidas al arsénico fueron postergadas hasta el año 1998, establecidas con el Decreto 165. A diferencia de las normas para gases y polvos que se establecen concentraciones permisibles en función a las normas ambientales, para el arsénico se establecen cantidades máximas absolutas de emisión permisible.

Las nuevas fuentes de emisión no podrán emitir más del 5% en peso de arsénico en la carga de emisión en todos los puntos. Las nuevas fuentes que procesen compuestos de cobre, no podrán emitir más del 0.024% en peso de arsénico en la carga de emisión. En el Cuadro 3-58 se muestra las cantidades máximas absolutas permisibles.

Cuadro 3-58 Cantidades Máximas Permisibles de Emisión de Arsénico

Región / Provincia	Capacidad de fundición mayor de: (t/año)	Fundición existente / Mina	Cantidades Máximas Absolutas Permisibles de Emisión de Arsénico (t/año)		
			2000	2001	2003
II Región El Loa	1,400,000	Chuquicamata	1,100	800	400
II Región Antofagasta	350,000	Alto Norte	126	126	126
III Región Copiapó	200,000	Paipote	42	42	42
III Región Chanaral	500,000	Potrerillos	1,450	800	150
IV Región Elqui	80,000	El Indio	200	200	200
V Región San Felipe	350,000	Chagres	95	95	95
V Región Valparaíso	400,000	Ventanas	120	120	120
VI Región Cachapoal	1,100,000	Caletones	1,880	375	375

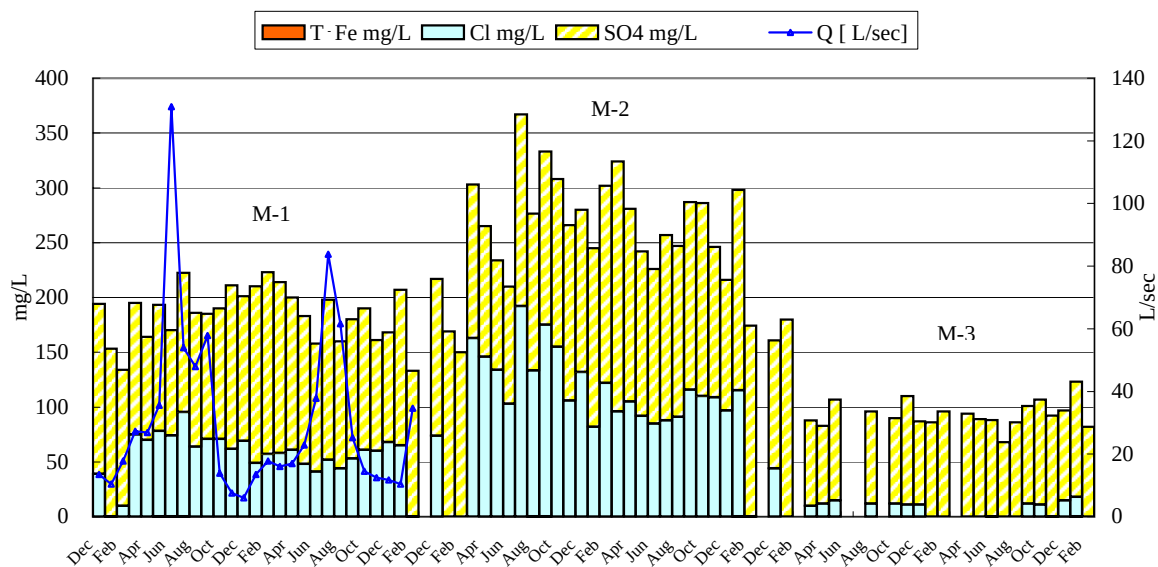


Figura 3-10 Análisis en Monitoreo en M-1, M-2, M-3 (Dic '99 Dec~Feb '02)

*Estándares: Agua para Irrigación

<M-1> Estero El Ingenio (aguas arriba)

	Fe-T mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Q [L/sec]
Estándar	5.0	200	250	
Dic	0.05	39	155	13.50
Ene-2000	0.28		153	10.41
Feb	0.05	< 10.0	124	17.74
Mar	0.10	75	120	27.26
Abr	0.05	70	94	26.89
May	0.23	78	115	35.58
Jun	0.22	74	96	130.87
Jul	0.34	95	127	53.91
Ago	< 0.1	64	122	47.92
Sep	< 0.1	71	114	57.84
Oct	< 0.1	71	119	13.87
Nov	< 0.1	62	149	7.55
Dic	< 0.1	69	132	6.08
Ene-2001	< 0.1	49	161	13.44
Feb	< 0.1	57	166	17.76
Mar	< 0.1	58	156	16.05
Abr	< 0.1	61	139	16.97
May	< 0.1	48	135	22.89
Jun	< 0.1	41	117	37.84
Jul	< 0.1	52	146	83.80
Ago	< 0.1	44	116	61.63
Sep	< 0.1	53	127	25.29
Oct	< 0.1	61	129	14.47
Nov	< 0.1	60	101	12.46
Dic	< 0.1	68	100	11.71
Ene-2002	< 0.1	65	142	10.40
Feb	0.20	-	133	34.68

<M-2> Agua Potable

	Fe-T mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L
Estándar	5.0	200	250
Dic	0.00	74	143
Ene-2000	0.00		169
Feb	0.00	< 10.0	150
Mar	0.00	163	140
Abr	0.00	146	119
May	0.00	134	100
Jun	0.00	103	107
Jul	0.00	192	175
Ago	0.40	133	143
Sep	0.20	175	158
Oct	< 0.1	155	153
Nov	< 0.1	106	160
Dic	0.10	132	148

<M-2> Agua Potable

	Fe-T mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L
Ene-2001	< 0.1	82	163
Feb	< 0.1	122	180
Mar	< 0.1	96	228
Abr	< 0.1	105	176
May	< 0.1	92	150
Jun	< 0.1	85	141
Jul	< 0.1	88	169
Ago	< 0.1	91	156
Sep	< 0.1	116	171
Oct	< 0.1	110	176
Nov	< 0.1	109	137
Dic	< 0.1	97	119
Ene-2002	0.20	115	183
Feb	0.20	-	174

<M-3> Agua Industrial

	Fe-T mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L
Estándar	5.0	200	250
Dic	0.00	44	117
Ene-2000	0.00		180
Feb			
Mar	0.00	10	78
Abr	0.00	12	71
May	0.00	15	92
Jun			
Jul			
Ago	0.10	12	84
Sep			
Oct	< 0.1	12	78
Nov	< 0.1	11	99
Dic	< 0.1	11	76
Ene-2001	< 0.1	< 10.0	86
Feb	< 0.1	< 10.0	96
Mar			
Abr	< 0.1	< 10.0	94
May	< 0.1	< 10.0	89
Jun	0.20	< 10.0	88
Jul	< 0.1	< 10.0	68
Ago	< 0.1	< 10.0	86
Sep	< 0.1	12	89
Oct	< 0.1	11	96
Nov	0.3	< 10.0	92
Dic	< 0.1	15	82
Ene-2002	0.20	18	105
Feb	0.10	-	82

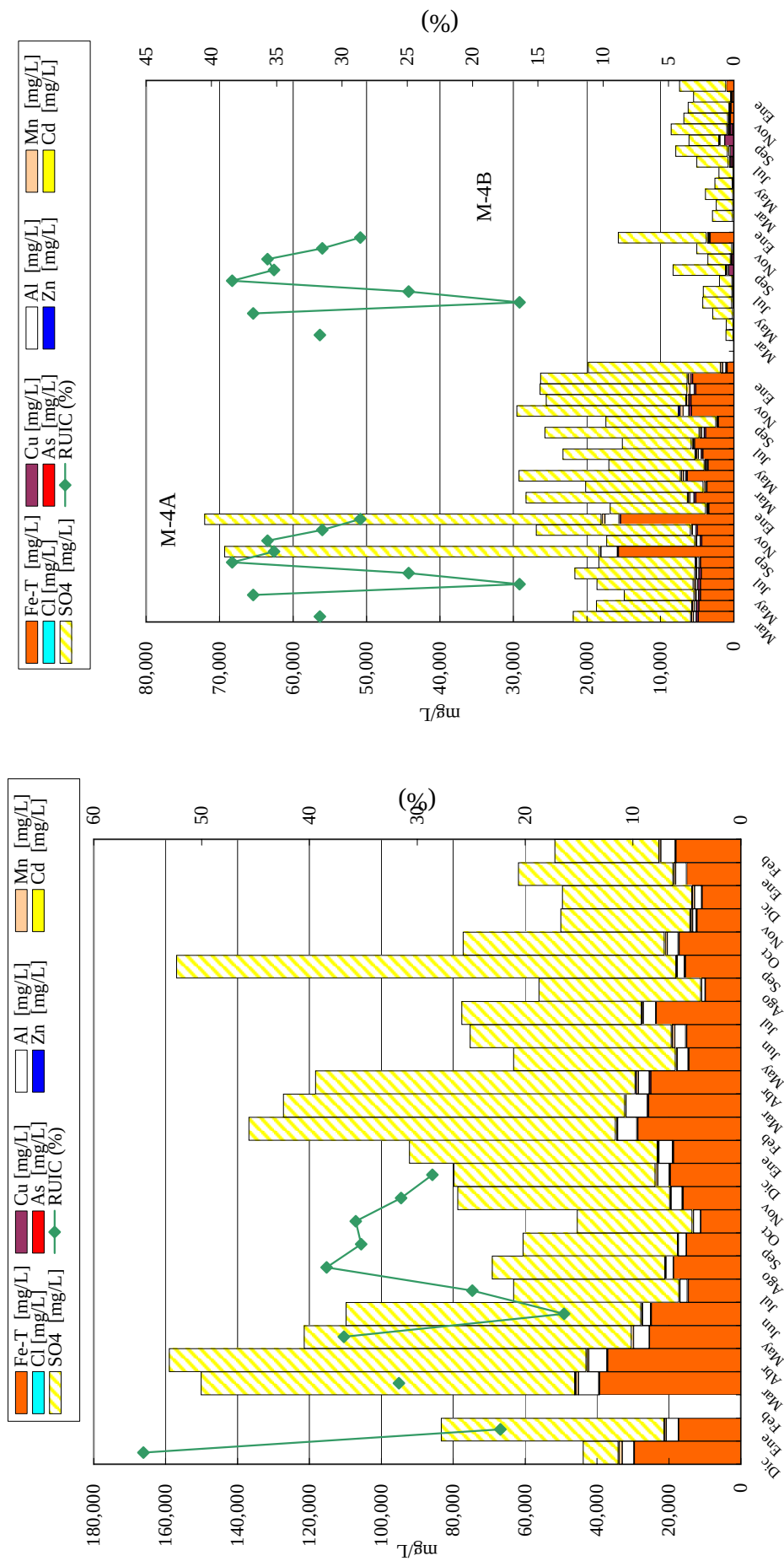


Figura 3-11 Análisis en Puntos de Monitoreo M-4, M-4A, M-4B (Dic '99 ~Feb '02)

Análisis en Puntos de Monitoreo M-4, M-4A, M-4B
(Dic '99~Feb '02)

<M- 4> Solución descarte (proceso precipitación)

*RCU: Tasa de uso capacidad instalada (14,000 t/m)

	Fe-T [mg/L]	Cu [mg/L]	Al [mg/L]	Mn [mg/L]	Cl [mg/L]	As [mg/L]	Zn [mg/L]	Cd [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	*RCU (%)
Norma	10.0	3.0	10.0	3.0	2,000	1.0	20.0	0.30	2,000	
Dic	29,550	210	3,200	927	< 10.0	27.00	178	0.33	9,750	55.4
Ene-2000	17,240	110	3,400	493		7.18	80	0.33	62,000	22.3
Feb										0.0
Mar	39,290	230	5,600	707	< 10.0	36.00	279	1.00	104,000	31.7
Abr	37,040	200	5,000	552	< 10.0	42.00	183	0.31	116,000	0.0
May	25,340	130	4,350	473	< 10.0	5.50	124	0.24	91,000	36.8
Jun	24,830	210	2,250	349	< 10.0	20.00	124	0.27	82,000	16.4
Jul	14,570	280	2,050	175	< 10.0	< 10.0	91	0.31	46,000	24.9
Ago	18,670	89	2,040	185	< 10.0	1.40	115	0.29	48,000	38.4
Sep	15,100	86	2,160	133	< 10.0	2.50	98	0.30	43,000	35.2
Oct	11,140	72	1,930	285	< 10.0	0.83	71	0.20	32,000	35.7
Nov	16,000	312	3,070	267	< 10.0	4.80	74	0.30	59,000	31.5
Dic	19,590	273	3,190	625	< 10.0	0.76	137	0.31	56,000	28.6
Ene-2001	18,660	339	3,710	319	20	0.16	136	3.60	69,000	
Feb	28,620	277	5,360	371	19	0.76	181	0.29	102,000	
Mar	25,600	366	5,900	229	15	33.00	109	1.22	95,000	
Abr	25,000	442	3,000	633	18	40.00	194	1.39	89,000	
May	14,390	242	3,000	404	< 10.0	1.70	148	1.94	45,000	
Jun	15,000	317	3,000	710	17	5.20	243	1.85	56,000	
Jul	23,470	184	3,448	358	< 10.0	1.40	165	1.62	50,000	
Ago	9,800	99	1,000	171	< 10.0	0.02	72	0.96	45,000	
Sep	15,400	267	2,000	116	< 10.0	0.54	201	1.38	139,000	
Oct	17,110	295	3,000	638	< 10.0	0.01	229	2.14	56,000	
Nov	12,150	200	1,000	482	< 10.0	0.05	241	1.84	36,000	
Dic	10,700	154	2,000	568	< 10.0	2.40	195	2.18	36,000	
Ene-2002	15,000	73	3,000	544	< 10.0	0.04	207	1.50	43,000	
Feb	18,000	212	4,000	516	-	-	-	-	29,000	

<M- 4A> Emanación de infiltración A (poza de evaporación)

	Fe-T [mg/L]	Cu [mg/L]	Al [mg/L]	Mn [mg/L]	Cl [mg/L]	As [mg/L]	Zn [mg/L]	Cd [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	*RCU (%)
Mar-2000	4,820	300	360	268	17.0	0.04	85.0	0.43	16,000	31.7
Abr	4,720	340	305	247	22.0	< 0.03	76.0	0.16	13,000	0.0
May	4,510	270	320	213	23.0	< 0.03	65.0	0.31	9,500	36.8
Jun	4,510	380	305	225	15.0	< 0.03	64.0	0.34	13,140	16.4
Jul	4,410	330	314	144	17.0	< 0.03	79.0	0.16	16,340	24.9
Ago	4,510	196	308	141	20.0	< 0.03	50.0	0.33	13,147	38.4
Sep	15,700	132	2,240	124	< 10.0	< 0.03	109.0	0.32	51,000	35.2
Oct	4,340	217	479	173	13.0	< 0.03	83.0	0.32	12,000	35.7
Nov	4,920	233	457	190	17.0	< 0.03	70.0	0.33	21,000	31.5
Dic	15,390	209	1,930	392	< 10.0	0.08	96.0	0.28	54,000	28.6
Ene-2001	3,380	85	136	159	12.0	0.10	44.0	0.19	13,000	
Feb	5,130	272	551	230	12.0	0.08	84.0	0.29	22,000	
Mar	3,630	85	170	213	24.0	< 0.03	43.0	0.31	16,000	
Abr	6,300	203	345	291	26.0	< 0.03	58.0	0.33	22,000	
May	3,500	80	156	179	39.0	< 0.005	41.0	0.12	13,000	
Jun	4,200	191	406	276	132.0	< 0.005	55.0	0.31	18,000	
Jul	5,310	58	135	182	34.0	< 0.005	39.0	0.89	9,400	
Ago	3,800	190	392	258	18.0	< 0.005	59.0	0.22	21,000	
Sep	2,090	69	142	59	20.0	< 0.005	37.0	0.19	15,000	
Oct	5,740	349	786	420	12.0	0.03	231.0	0.39	22,000	
Nov	5,810	253	52	310	< 10.0	< 0.005	88.0	0.37	19,000	
Dic	5,140	233	560	371	< 10.0	< 0.005	68.0	0.25	20,000	
Ene-2002	5,600	230	26	333	37	< 0.005	90	0.32	20,000	
Feb	866	198	425	294	-	-	-	-	18,000	

<M- 4B> Emanación de infiltración B (poza de evaporación)

	Fe-T [mg/L]	Cu [mg/L]	Al [mg/L]	Mn [mg/L]	Cl [mg/L]	As [mg/L]	Zn [mg/L]	Cd [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	*RCU (%)
Mar-2000	0.00	0.00	< 1.0	9.9	75.0	0.08	0.39	< 0.01	990	31.7
Abr	0.00	0.00	1.0	8.4	67.0	< 0.03	0.47	0.02	938	0.0
May	0.00	0.00	24.0	39.0	66.0	< 0.03	6.30	0.03	2,746	36.8
Jun	0.00	0.00	140.0	69.0	35.0	< 0.03	16.00	0.09	3,964	16.4
Jul	0.00	0.00	120.0	50.0	41.0	< 0.03	13.00	0.02	3,912	24.9
Ago	11.00	49.00	68.0	24.0	57.0	< 0.03	3.40	0.05	1,723	38.4
Sep	5.40	688.00	265.0	100.0	14.0	< 0.03	45.00	0.17	7,159	35.2
Oct	18.00	225.00	87.0	48.0	47.0	< 0.03	10.00	0.03	3,078	35.7
Nov	16.00	121.00	46.0	33.0	52.0	< 0.03	6.90	0.15	4,739	31.5
Dic	3,180.00	110.00	165.0	195.0	24.0	< 0.03	51.00	0.02	12,000	28.6
Ene-2001										
Feb	29.00	13.00	9.2	20.0	59.0	< 0.03	1.31	0.01	2,779	
Mar	16.00	9.30	9.6	18.0	64.0	< 0.03	0.56	< 0.01	2,270	
Abr	18.00	7.70	6.0	12.0	70.0	< 0.03	0.61	< 0.01	3,760	
May	12.00	34.00	81.0	18.0	43.0	< 0.005	1.70	0.03	2,375	
Jun	14.00	8.90	3.0	17.0	43.0	< 0.005	1.00	0.02	1,950	
Jul	130.00	290.00	184.0	102.0	25.0	< 0.005	20.00	0.08	4,275	
Ago	25.00	401.00	250.0	144.0	16.0	< 0.005	26.00	0.14	7,050	
Sep	7.30	1,200.00	652.0	75.0	< 10.0	< 0.005	68.00	0.41	4,100	
Oct	138.00	350.00	151.0	161.0	26.0	< 0.005	94.00	0.10	7,600	
Nov	450.00	156.00	66.0	81.0	33.0	< 0.005	7.30	0.10	6,000	
Dic	360.00	71.00	46.0	83.0	40.0	< 0.005	6.40	0.02	5,600	
Ene-2002	188.0	35.00	24.0	72.0	64.0	< 0.005	4	0.02	5,100	
Feb	982.0	0.84	7.0	79.0	-	-	-	-	6,300	

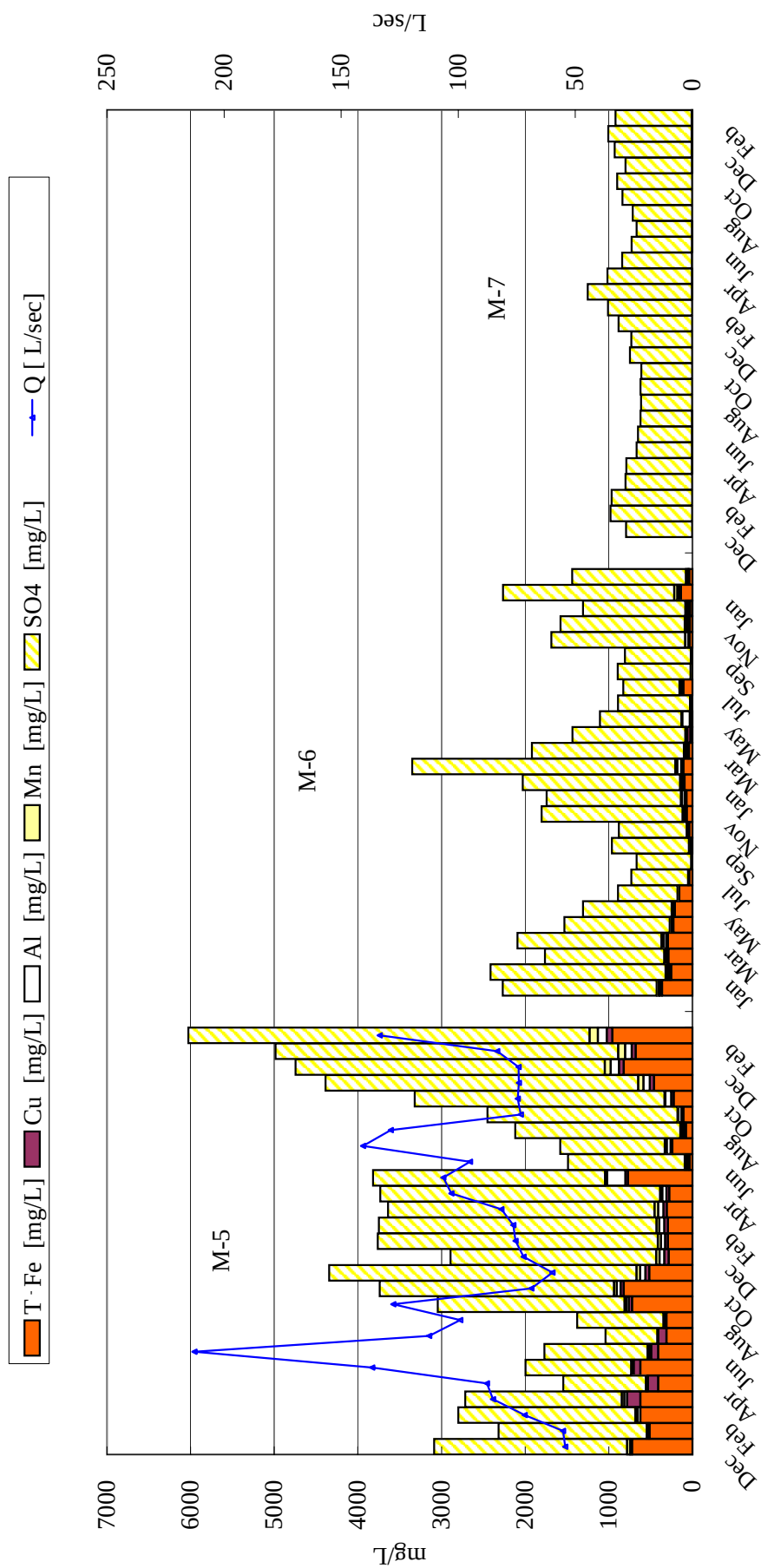


Figura 3-12 Análisis en Puntos de Monitoreo M-5, M-6, M-7 (Dic '99~Feb '02)

Análisis en Puntos de Monitoreo M-5, M-6, M-7 (Dic '99~Feb '02)

<M-5> Estero El Ingenio (500m aguas debajo de planta) *Estándares: Agua para Irrigación

	Fe-T [mg/L]	Cu [mg/L]	Al [mg/L]	Mn [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	As [mg/L]	Hg [mg/L]	Zn [mg/L]	Mo [mg/L]	Cd [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	Q [L/sec]
Norma	5.0	0.2	5.0	0.2	200	0.1	0.001	2.0	0.01	0.01	250	
Dic	720.0		24.0	35.0	70.0	< 0.03	< 0.001	6.7	< 0.01	0.06	2,309.0	54.29
Ene-2000	510.0		11.0	25.0		< 0.03	< 0.001	4.5	< 0.01	0.02	1,773.0	55.23
Feb	620.0		33.0	29.0	< 10.0	< 0.03	< 0.001	6.7	0.04	0.04	2,116.0	71.58
Mar	620.0	160.0	35.0	28.0	138.0	< 0.03	< 0.001	6.9	< 0.01	0.05	1,872.0	85.14
Abr	410.0	120.0	10.0	15.0	101.0	< 0.03	< 0.001	4.2	< 0.01	0.02	988.0	87.78
May	620.0	80.0	13.0	19.0	101.0	< 0.03	< 0.001	4.7	< 0.01	0.04	1,263.0	136.70
Jun	410.0	80.0	25.0	19.0	109.0	< 0.03	< 0.001	4.1	< 0.01	0.02	1,236.0	212.62
Jul	310.0	100.0	1.7	8.3	105.0	< 0.03	< 0.001	1.8	< 0.01	0.02	619.0	112.38
Ago	310.0	17.0	6.1	13.0	96.0	< 0.03	< 0.001	3.4	< 0.01	0.01	1,031.0	99.18
Sep	720.0	39.0	30.0	22.0	71.0	< 0.03	< 0.001	3.6	< 0.01	< 0.01	2,234.0	127.69
Oct	820.0	38.0	45.0	34.0	78.0	< 0.03	< 0.001	8.2	< 0.01	0.01	2,803.0	68.80
Nov	516.0	46.0	62.0	42.0	73.0	< 0.03	< 0.001	11.0	< 0.01	0.03	3,676.0	59.83
Dic	281.0	53.0	58.0	41.0	78.0	< 0.03	< 0.001	7.9	< 0.01	0.04	2,458.0	72.09
Ene-2001	291.0	35.0	48.0	38.0	49.0	< 0.03	< 0.001	8.8	< 0.01	0.03	3,351.0	75.50
Feb	291.0	45.0	60.0	34.0	65.0	< 0.03	< 0.001	10.0	< 0.01	0.04	3,319.0	76.45
Mar	305.0	40.0	63.0	42.0	62.0	< 0.03	< 0.001	8.8	< 0.01	0.06	3,190.0	81.61
Abr	274.0	35.0	50.0	26.0	60.0	< 0.03	< 0.001	7.9	< 0.01	0.06	3,348.0	103.00
May	770.0	29.0	219.0	25.0	61.0	< 0.005	< 0.001	8.7	< 0.01	0.06	2,775.0	106.36
Jun	33.0	15.0	23.0	17.0	61.0	< 0.005	< 0.001	3.6	< 0.01	0.04	1,400.0	94.96
Jul	240.0	18.0	47.0	24.0	58.0	< 0.005	< 0.001	5.0	< 0.01	0.03	1,250.0	140.62
Ago	78.0	17.0	26.0	22.0	55.0	< 0.005	< 0.001	5.5	< 0.01	< 0.01	1,975.0	128.81
Sep	106.0	22.0	37.0	12.0	67.0	< 0.005	< 0.001	5.2	0.12	< 0.01	2,275.0	73.32
Oct	222.0	31.0	70.0	8.9	65.0	< 0.005	< 0.001	8.9	< 0.01	< 0.01	2,988.0	74.59
Nov	458.0	50.0	78.0	62.0	49.0	< 0.005	< 0.001	12.0	< 0.01	0.06	3,740.0	74.17
Dic	821.0	57.0	98.0	70.0	41.0	< 0.005	< 0.001	13.0	0.12	< 0.01	3,700.0	74.19
Ene-2002	677.0	46.0	82.0	80.0	72.0	< 0.005	< 0.001	12.0	< 0.01	0.05	4,100.0	83.39
Feb	956.0	68.0	104.0	99.0							4,800.0	133.57

<M-6> Estero El Ingenio (2km aguas debajo de planta)

	Fe-T [mg/L]	Cu [mg/L]	Al [mg/L]	Mn [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	As [mg/L]	Hg [mg/L]	Zn [mg/L]	Mo [mg/L]	Cd [mg/L]	SO ₄ [mg/L]
Norma	5.0	0.2	5.0	0.2	200	0.1	0.001	2.0	0.01	0.01	250
Dic	362.7	24.4	11.0	28.0	66.00	< 0.03	< 0.001	5.60	< 0.01	0.03	1,842.0
Ene-2000	251.3	16.9	29.0	23.0		< 0.03	< 0.001	3.50	< 0.01	0.04	2,094.0
Feb	286.0	19.4	15.0	15.0	< 10.0	< 0.03	< 0.001	4.30	< 0.01	0.02	1,429.0
Mar	292.0	20.6	33.0	24.0	138.00	< 0.03	< 0.001	6.20	< 0.01	0.05	1,723.0
Abr	225.4	15.4	13.0	15.0	103.00	< 0.03	< 0.001	2.40	< 0.01	0.02	1,263.0
May	210.5	13.0	7.5	16.0	119.00	< 0.03	< 0.001	3.80	< 0.01	0.02	1,062.0
Jun	156.1	9.6	< 1.0	11.0	114.00	< 0.03	< 0.001	2.10	< 0.01	< 0.01	713.0
Jul	37.8	0.7	2.5	8.5	100.00	< 0.03	< 0.001	1.80	< 0.01	0.02	681.0
Ago	0.7	2.9	< 1.0	8.3	111.00	< 0.03	< 0.001	0.84	< 0.01	< 0.01	657.0
Sep	11.0	9.1	7.2	12.0	98.00	< 0.03	< 0.001	2.80	< 0.01	< 0.01	924.0
Oct	37.0	8.6	4.8	16.0	111.00	< 0.03	< 0.001	2.70	< 0.01	< 0.01	813.0
Nov	66.0	15.0	17.0	19.0	100.00	< 0.03	< 0.001	4.60	< 0.01	0.01	1,687.0
Dic	70.0	18.0	35.0	14.0	76.00	< 0.03	< 0.001	4.90	< 0.01	0.03	1,605.0
Ene-2001	92.0	17.0	16.0	22.0	65.00	< 0.03	< 0.001	5.10	< 0.01	< 0.01	1,881.0
Feb	106.0	28.0	45.0	25.0	84.00	< 0.03	< 0.001	7.10	< 0.01	0.02	3,147.0
Mar	40.0	17.0	25.0	17.0	73.00	< 0.03	< 0.001	4.00	< 0.01	< 0.01	1,820.0
Abr	24.0	35.0	15.0	8.1	67.00	< 0.03	< 0.001	2.90	< 0.01	0.03	1,353.0
May	19.0	11.0	91.0	8.5	71.00	< 0.005	< 0.001	2.20	< 0.01	0.03	975.0
Jun	0.6	6.9	10.0	9.7	63.00	< 0.005	< 0.001	2.50	< 0.01	0.03	863.0
Jul	107.0	8.0	28.0	10.0	62.00	< 0.005	< 0.001	1.60	< 0.01	0.02	675.0
Ago	0.3	5.8	7.0	6.8	85.00	< 0.005	< 0.001	2.20	< 0.01	< 0.01	875.0
Sep	< 0.1	5.8	4.0	7.6	83.00	< 0.005	< 0.001	1.80	< 0.01	< 0.01	788.0
Oct	33.0	15.0	35.0	4.9	73.00	< 0.005	< 0.001	4.90	< 0.01	< 0.01	1,600.0
Nov	31.0	15.0	27.0	16.0	67.00	< 0.005	< 0.001	4.00	< 0.01	0.01	1,488.0
Dic	27.0	12.0	23.0	20.0	57.00	< 0.005	< 0.001	3.60	< 0.01	< 0.01	1,225.0
Ene-2002	136.0	19.0	24.0	37.0	82.00	< 0.005	< 0.001	7.20	< 0.01	< 0.01	2,050.0
Feb	36.0	10.0	12.0	20.0							1,359.0

<M-7> Estero El Ingenio (5km aguas debajo de planta)

	Fe-T [mg/L]	Cu [mg/L]	Al [mg/L]	Mn [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	As [mg/L]	Hg [mg/L]	Zn [mg/L]	Mo [mg/L]	Cd [mg/L]	SO ₄ [mg/L]
Norma	5.0	0.2	5.0	0.2	200	0.1	0.001	2.0	0.01	0.01	250
Dic	0.05	0.05	1.00	0.50	144.0	< 0.03	< 0.001	< 0.05	< 0.01	< 0.01	793.0
Ene-2000	0.05	0.05	1.00	0.40		< 0.03	< 0.001	0.09	< 0.01	< 0.01	979.0
Feb	0.05	0.05	0.05	0.45	< 10.0	< 0.03	< 0.001	0.35	< 0.01	< 0.01	967.0
Mar	0.05	0.05	0.05	0.71	312.0	< 0.03	< 0.001	0.35	< 0.01	< 0.01	800.0
Abr	0.05	0.05	0.05	2.30	231.0	< 0.03	< 0.001	0.57	< 0.01	< 0.01	788.0
May	0.05	0.05	1.00	2.50	220.0	< 0.03	< 0.001	0.66	< 0.01	< 0.01	663.0
Jun	0.13	0.05	1.00	2.10	190.0	< 0.03	< 0.001	0.23	< 0.01	< 0.01	646.0
Jul	0.11	0.05	1.00	0.55	179.0	< 0.03	< 0.001	0.10	< 0.01	< 0.01	619.0
Ago	0.20	< 0.05	1.00	0.10	189.0	< 0.03	< 0.001	< 0.05	< 0.01	< 0.01	612.0
Sep	0.30	< 0.05	1.00	0.30	179.0	< 0.03	< 0.001	0.06	< 0.01	< 0.01	620.0
Oct	< 0.1	< 0.05	1.00	0.20	202.0	< 0.03	< 0.001	< 0.05	< 0.01	< 0.01	609.0
Nov	< 0.1	< 0.05	< 1.0	0.10	190.0	< 0.03	< 0.001	< 0.05	< 0.01	< 0.01	747.0
Dic	0.20	< 0.05	1.00	0.10	173.0	< 0.03	< 0.001	0.06	< 0.01	< 0.01	729.0
Ene-2001	0.30	< 0.05	1.00	< 0.05	182.0	< 0.03	< 0.001	0.09	< 0.01	< 0.01	883.0
Feb	0.20	< 0.05	1.00	0.36	181.0	< 0.03	< 0.001	0.36	< 0.01	< 0.01	1,008.0
Mar	0.10	0.11	1.00	1.50	140.0	< 0.03	< 0.001	0.63	< 0.01	< 0.01	1,250.0
Abr	0.10	0.16	1.00	1.70	150.0	< 0.03	< 0.001	0.45	< 0.01	< 0.01	1,012.0
May	0.20	0.17	< 1.0	1.30	143.0	< 0.005	< 0.001	0.81	< 0.01	< 0.01	838.0
Jun	0.20	0.06	< 1.0	3.30	118.0	< 0.005	< 0.001	0.36	< 0.01	< 0.01	725.0
Jul	< 0.1	< 0.05	1.00	3.20	127.0	< 0.005	< 0.001	0.16	< 0.01	< 0.01	662.0
Ago	0.30	< 0.05	< 1.0	< 0.05	134.0	< 0.005	< 0.001	0.23	< 0.01	< 0.01	712.0
Sep	< 0.1	0.05	< 1.0	0.07	159.0	< 0.005	< 0.001	1.30	< 0.01	< 0.01	838.0
Oct	< 0.1	0.05	< 1.0	1.20	150.0	< 0.005	< 0.001	0.48	< 0.01	< 0.01	900.0
Nov	0.10	0.12	< 1.0	1.60	164.0	< 0.005	< 0.001	0.55	< 0.01	< 0.01	800.0
Dic	0.10	0.35	< 1.0	5.40	172.0	< 0.005	< 0.001	1.10	< 0.01	< 0.01	925.0
Ene-2002	0.10	0.38	< 1.0	6.00	200.0	< 0.005	< 0.001	0.98	< 0.01	< 0.01	1,000.0
Feb	< 0.1	0.67	< 1.0	7.40							912.0

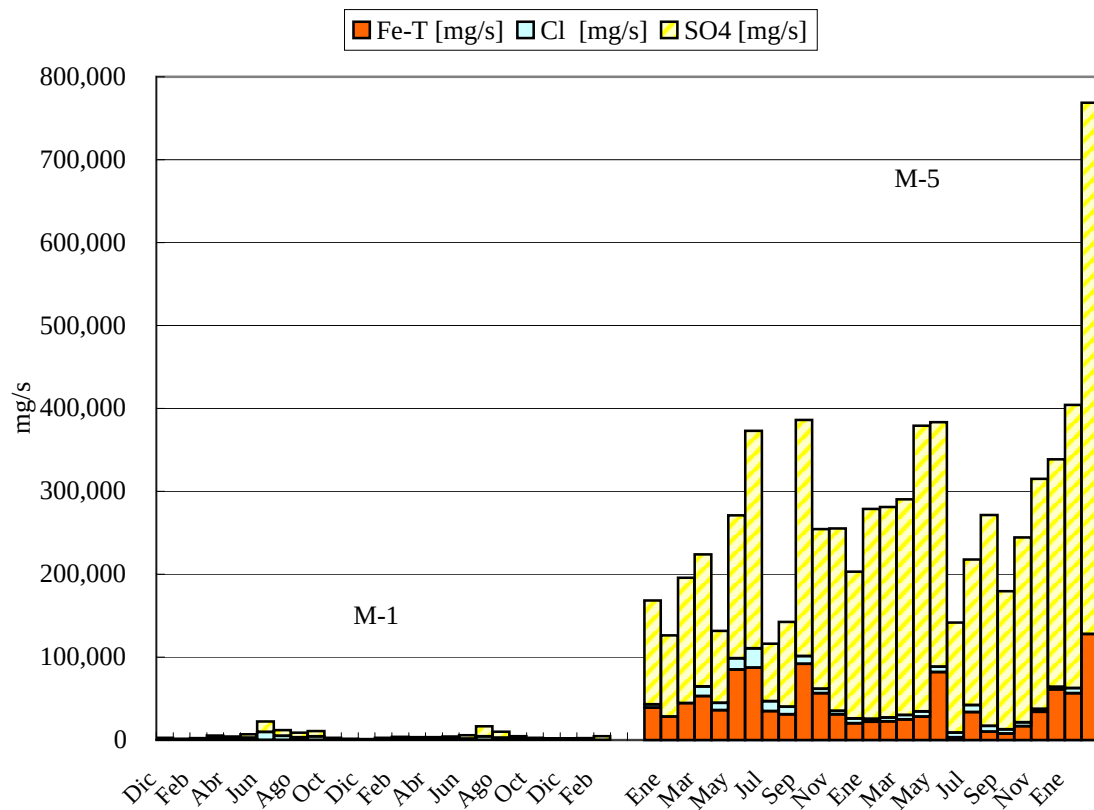


Figura 3-13 Carga de Fe-T, Cl, SO4 M-1 · M-5 (Dic '99~Feb '02)

<M-1>

	Fe-T [mg/s]	Cl [mg/s]	SO ₄ [mg/s]
Dic	0.68	527	2,093
Ene-2000	2.91		1,593
Feb	0.89		2,200
Mar	2.73	2,045	3,271
Abr	1.34	1,882	2,528
May	8.18	2,775	4,092
Jun	28.79	9,684	12,564
Jul	18.32	5,121	6,847
Ago	< 4.79	3,067	5,846
Sep	< 5.78	4,107	6,594
Oct	< 1.38	978	1,640
Nov	< 0.75	468	1,125
Dic	< 0.60	419	802
Ene-2001	< 1.34	658	2,164
Feb	< 1.78	1,012	2,948
Mar	< 1.60	931	2,504
Abr	< 1.70	1,035	2,359
May	< 2.29	1,098	3,090
Jun	< 3.78	1,551	4,427
Jul	< 8.38	4,358	12,235
Ago	< 6.16	2,712	7,149
Sep	< 2.53	1,340	3,212
Oct	< 1.45	883	1,867
Nov	< 1.25	748	1,258
Dic	< 1.17	796	1,171
Ene-2002	< 1.04	676	1,477
Feb	6.94		4,612

<M-5>

	Fe-T [mg/s]	Cl [mg/s]	SO ₄ [mg/s]
Dic	39,089	3,800	125,356
Ene-2000	28,167		97,923
Feb	44,380		151,463
Mar	52,787	11,749	159,382
Abr	35,990	8,866	86,727
May	84,754	13,807	172,652
Jun	87,174	23,176	262,798
Jul	34,838	11,800	69,563
Ago	30,746	9,521	102,255
Sep	91,937	9,066	285,259
Oct	56,416	5,366	192,846
Nov	30,872	4,368	219,935
Dic	20,257	5,623	177,197
Ene-2001	21,971	3,700	253,000
Feb	22,247	4,969	253,738
Mar	24,891	5,060	260,336
Abr	28,222	6,180	344,844
May	81,897	6,488	295,149
Jun	3,134	5,793	132,944
Jul	33,749	8,156	175,775
Ago	10,047	7,085	254,400
Sep	7,772	4,912	166,803
Oct	16,559	4,848	222,875
Nov	33,970	3,634	277,396
Dic	60,910	3,042	274,503
Ene-2002	56,455	6,004	341,899
Feb	127,693	0	641,136

Cuadro 3-29 Análisis de Monitoreo Diciembre '99

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	13.50	-	-	-	54.29	54.04	48.96	-
pH	6.90	7.00	7.20	3.80	4.54	4.60	6.68	6,0 - 8,5
t° [°C]	21.6	21.6	20.1	25.7	19.0	18.7	16.6	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.05	nd	nd	29,550.0	720.0	362.7	0.05	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	-	-	-	29,230.0	620.0	410.0	-	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	nd	210.0	nd	24.41	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,200.00	24.0	11.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	927.00	35.00	28.00	0.50	3.0
Cl [mg/L]	39.00	74.00	44.00	< 10.0	70.00	66.00	144.00	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	27.00	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	178.00	6.70	5.60	< 0.05	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.33	0.06	0.03	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	155.0	143.0	117.0	9,750.0	2,309.0	1,842.0	793.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,610.0	1,590.0	1,220.0	7,620.0	5,420.0	5,230.0	3,400.0	-

Cuadro 3-30 Análisis de Monitoreo Enero '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	10.41	-	-	-	55.23	60.10	50.28	-
pH	6.86	6.75	7.00	3.51	4.58	4.66	6.75	6,0 - 8,5
t° [°C]	17.5	20.8	18.7	27.1	18.8	18.5	16.4	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.28	nd	nd	17,240.0	510.0	251.3	0.05	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	17,030.0	360.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	nd	110.0	nd	16.90	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,400.0	11.0	29.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	0.06	0.06	493.0	25.0	23.0	0.40	3.0
Cl [mg/L]								2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	7.18	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	80.0	4.5	3.5	0.09	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	0.04	0.37	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.33	0.02	0.04	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	153.0	169.0	180.0	62,000.0	1,773.0	2,094.0	979.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,410.0	1,670.0	780.0	55,300.0	4,580.0	4,210.0	3,450.0	-

Cuadro 3-31 Análisis de Monitoreo Febrero '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3 *	M - 4 *	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	17.74	-	-	-	71.58	85.74	77.15	-
pH	6.74	6.62	-	-	4.50	4.53	6.60	6,0 - 8,5
t° [°C]	18.2	22.5	-	-	19.2	18.8	16.7	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.05	nd	-	-	620.0	286.0	0.05	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	-	-	510.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	-	-	nd	19.4	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	-	-	33.0	15.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	0.05	-	-	29.0	15.0	0.45	3.0
Cl [mg/L]	< 10.0	< 10.0	-	-	< 10.0	< 10.0	< 10.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	-	-	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	-	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	0.23	-	-	6.7	4.3	0.35	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	-	-	0.04	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	-	-	0.04	0.02	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	124.0	150.0	-	-	2,116.0	1,429.0	967.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,330.0	1,660.0	-	-	5,050.0	4,320.0	3,790.0	-

Ubicación de puntos de monitoreo:

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

(Febrero '00)

*M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén) *(limpieza de tanque de agua)

*M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre *(operación suspendida)

Cuadro 3-32 Análisis de Monitoreo Marzo '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	27.26	-	-	-	-	-	85.14	115.25	98.85	-
pH	7.12	7.19	7.49	3.59	-	-	4.84	4.68	6.81	6,0 - 8,5
t° [°C]	17.5	21.3	20.2	29.5	-	-	18.5	18.9	16.1	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.10	nd	nd	39,290.0	4,820.0	nd	620.0	292.0	0.05	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	38,570.0	4,620.0	nd	510.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	nd	230.0	300.0	nd	160.0	20.6	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	5,600.0	360.0	< 1.0	35.0	33.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	707.0	268.0	9.9	28.0	24.0	0.71	3.0
Cl [mg/L]	75.0	163.0	10.0	< 10.0	17.0	75.0	138.0	138.0	312.0	2,000.0
As [mg/L]	0.10	< 0.03	< 0.03	36.0	0.04	0.08	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	0.08	279.0	85.0	0.39	6.9	6.2	0.35	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.80	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.00	0.43	< 0.01	0.05	0.05	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	120.0	140.0	78.0	104,000.0	16,000.0	990.0	1,872.0	1,723.0	800.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,330.0	1,710.0	550.0	79,500.0	18,300.0	2,900.0	4,220.0	3,990.0	3,280.0	-

Cuadro 3-33 Análisis de Monitoreo Abril '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	26.89	-	-	-	-	-	87.78	122.31	156.41	-
pH	7.42	7.16	7.65	3.60	3.86	3.49	5.33	4.59	6.56	6,0 - 8,5
t° [°C]	16.7	20.5	18.7	25.0	18.4	15.4	16.4	17.3	15.1	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.05	nd	nd	37,040.0	4,720.0	nd	410.0	225.4	0.05	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	36,520.0	4,620.0	nd	310.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	nd	200.0	340.0	nd	120.0	15.4	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	5,000.0	305.0	1.0	10.0	13.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	0.10	< 0.05	552.0	247.0	8.4	15.0	15.0	2.3	3.0
Cl [mg/L]	70.0	146.0	12.0	< 10.0	22.0	67.0	101.0	103.0	231.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	42.0	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.22	0.14	0.15	183.0	76.0	0.47	4.2	2.4	0.57	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.31	0.16	0.02	0.02	0.02	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	94.0	119.0	71.0	116,000.0	13,000.0	938.0	988.0	1,263.0	788.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,030.0	1,440.0	510.0	46,600.0	13,900.0	2,430.0	2,540.0	2,940.0	2,680.0	-

Cuadro 3-34 Análisis de Monitoreo Mayo '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	35.58	-	-	-	-	-	136.70	123.22	164.98	-
pH	7.17	7.18	7.58	3.55	3.79	3.78	5.52	5.36	6.99	6,0 - 8,5
t° [°C]	13.9	17.0	15.2	23.9	17.3	14.8	15.0	14.8	12.5	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.23	nd	nd	25,340.0	4,510.0	nd	620.0	210.5	0.05	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	25,130.0	4,310.0	nd	510.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	nd	130.0	270.0	nd	80.0	13.0	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	4,350.0	320.0	24.0	13.0	7.5	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	0.06	473.0	213.0	39.0	19.0	16.0	2.5	3.0
Cl [mg/L]	78.0	134.0	15.0	< 10.0	23.0	66.0	101.0	119.0	220.00	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	5.5	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.40	0.65	0.21	124.0	65.0	6.3	4.7	3.8	0.66	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.00	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.24	0.31	0.03	0.04	0.02	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	115.0	100.0	92.0	91,000.0	9,500.0	2,746.0	1,263.0	1,062.0	663.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	906.0	1,152.0	484.0	35,687.0	13,106.0	3,922.0	2,533.0	2,170.0	2,329.0	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

Cuadro 3-35 Análisis de Monitoreo Junio '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3 *	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	130.87	-	-	-	-	-	212.62	250.70	608.65	-
pH	7.16	7.25	-	3.35	3.92	3.72	5.27	5.54	6.73	6,0 - 8,5
t° [°C]	15.3	15.9	-	24.8	18.4	15.8	16.3	17.1	13.0	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.22	nd	-	24,830.0	4,510.0	nd	410.0	156.1	0.13	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	-	24,720.0	4,410.0	nd	310.0	10.0	nd	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	-	210.0	380.0	nd	80.0	9.6	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	-	2,250.0	305.0	140.0	25.0	< 1.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	-	349.0	225.0	69.0	19.0	11.0	2.1	3.0
Cl [mg/L]	74.0	103.0	-	< 10.0	15.0	35.0	109.0	114.0	190.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	-	20.00	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	-	124.00	64.00	16.00	4.10	2.10	0.23	20.00
Mo [mg/L]	0.01	< 0.01	-	1.30	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	-	0.27	0.34	0.09	0.02	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	96.0	107.0	-	82,000.0	13,140.0	3,964.0	1,236.0	713.0	646.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,020.0	1,160.0	-	57,800.0	14,800.0	5,380.0	2,820.0	1,800.0	2,420.0	-

Cuadro 3-36 Análisis de Monitoreo Julio '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3 *	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	53.91	-	-	-	-	-	112.38	135.80	156.63	-
pH	7.07	6.93	-	2.72	3.94	3.48	5.90	5.87	7.07	6,0 - 8,5
t° [°C]	15.6	16.0	-	20.7	19.4	18.5	16.2	17.8	12.9	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.34	nd	-	14,570.0	4,410.0	nd	310.0	37.76	0.11	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	-	14,160.0	4,210.0	nd	100.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	0.05	nd	-	280.0	330.0	nd	100.0	0.69	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	-	2,050.0	314.0	120.0	1.7	2.5	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	-	175.0	144.0	50.0	8.3	8.5	0.55	3.0
Cl [mg/L]	95.0	192.0	-	< 10.0	17.0	41.0	105.0	100.0	179.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	-	1.00	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	-	91.0	79.0	13.0	1.8	1.8	0.10	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	-	0.50	0.09	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	-	0.31	0.16	0.02	0.02	0.02	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	127.0	175.0	-	46,000.0	16,340.0	3,912.0	619.0	681.0	619.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,080.0	1,520.0	-	41,200.0	15,700.0	5,580.0	1,840.0	1,800.0	2,320.0	-

Cuadro 3-37 Análisis de Monitoreo Agosto '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	47.92	-	-	-	-	-	99.18	117.83	128.94	-
pH	7.61	7.40	7.72	4.03	4.14	3.99	5.44	5.65	7.00	6,0 - 8,5
t° [°C]	16.7	20.5	18.7	25.0	18.4	15.4	16.4	17.3	15.1	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	0.4	0.1	18,670.0	4,510.0	11.0	310.0	0.7	0.2	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	18,570.0	2,560.0	nd	210.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	89.0	196.0	49.0	17.0	2.9	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	2,040.0	308.0	68.0	6.1	< 1.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	185.0	141.0	24.0	13.0	8.3	0.10	3.0
Cl [mg/L]	64.0	133.0	12.0	< 10.0	20.0	57.0	96.0	111.0	189.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.40	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	0.13	115.0	50.0	3.4	3.4	0.84	< 0.05	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.45	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.29	0.33	0.05	0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	122.0	143.0	84.0	48,000.0	13,147.0	1,723.0	1,031.0	657.0	612.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	914.0	1,100.0	430.0	40,100.0	12,400.0	3,170.0	1,980.0	1,470.0	2,110.0	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

Cuadro 3-38 Análisis de Monitoreo Septiembre '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3 *	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	57.84	-	-	-	-	-	127.69	147.51	165.28	-
pH	7.54	7.36	-	3.52	2.57	3.40	5.55	5.13	7.02	6,0 - 8,5
t° [°C]	19.9	19.3	-	20.8	20.2	22.7	21.3	25.1	15.7	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	0.20	-	15,100.0	15,700.0	5.4	720.0	11.0	0.3	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	-	14,000.0	14,800.0	nd	620.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	-	86.0	132.0	688.0	39.0	9.1	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	-	2,160.0	2,240.0	265.0	30.0	7.2	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	-	133.0	124.0	100.0	22.0	12.0	0.30	3.0
Cl [mg/L]	71.0	175.0	-	< 10.0	< 10.0	14.0	71.0	98.0	179.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	-	2.50	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	0.07	-	98.00	109.00	45.00	3.60	2.80	0.06	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	-	0.29	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	-	0.30	0.32	0.17	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	114.0	158.0	-	43,000.0	51,000.0	7,159.0	2,234.0	924.0	620.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,050.0	1,690.0	-	39,100.0	42,700.0	7,890.0	3,890.0	2,530.0	2,500.0	-

Cuadro 3-39 Análisis de Monitoreo Octubre '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	13.78	-	-	-	-	-	68.80	47.04	53.90	-
pH	7.40	7.40	7.78	3.77	3.87	3.41	4.56	5.20	6.98	6,0 - 8,5
t° [°C]	16.7	16.6	14.4	22.8	17.8	18.4	19.0	19.7	15.2	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	11,140.0	4,340.0	18.0	820.0	37.0	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	10,860.0	4,210.0	nd	720.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	72.0	217.0	225.00	38.0	8.6	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	1,930.00	479.00	87.0	45.0	4.8	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	285.00	173.00	48.00	34.00	16.00	0.20	3.0
Cl [mg/L]	71.0	155.0	12.0	< 10.0	13.0	47.0	78.0	111.0	202.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.83	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	0.13	< 0.05	71.00	83.00	10.00	8.20	2.70	< 0.05	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.03	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.20	0.32	0.03	0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	119.0	153.0	78.0	32,000.0	12,000.0	3,078.0	2,803.0	813.0	609.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,170.0	1,560.0	512.0	36,800.0	16,100.0	5,540.0	4,630.0	2,660.0	2,760.0	-

Cuadro 3-40 Análisis de Monitoreo Noviembre '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	7.55	-	-	-	-	-	59.83	43.16	77.16	-
pH	7.37	7.05	7.45	3.59	3.38	2.98	4.16	4.55	6.91	6,0 - 8,5
t° [°C]	18.4	18.0	15.5	23.7	20.6	19.9	21.7	23.9	15.8	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	16,000.0	4,920.0	16.0	516.0	66.0	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	15,740.0	4,820.0	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	0.2	< 0.05	< 0.05	312.0	233.0	121.00	46.00	15.00	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,070.00	457.00	46.00	62.0	17.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	267.00	190.00	33.00	42.00	19.00	0.10	3.0
Cl [mg/L]	62.0	106.0	11	< 10.0	17.0	52.0	73.0	100.0	190.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	4.80	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.05	0.09	< 0.05	74.00	70.00	6.90	11.00	4.60	< 0.05	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.30	0.33	0.15	0.03	0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	149.0	160.0	99	59000.0	21000.0	4739.0	3676.0	1687.0	747.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	1,210.0	1,430.0	512	46,600.0	16,600.0	4,910.0	5,450.0	3,500.0	2,790.0	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

Cuadro 3-41 Análisis de Monitoreo Diciembre '00

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	6.08	-	-	-	-	-	72.09	42.81	42.79	-
pH	7.42	7.10	7.41	3.74	3.70	2.73	4.17	4.50	6.95	6,0 - 8,5
t° [°C]	20.5	20.4	19.2	27.5	29.8	27.7	24.7	28.1	16.1	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	0.1	< 0.1	19,590.0	15,390.0	3,180.0	281.0	70.0	0.2	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	19,390.0	14,980.0	3,080.0	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	0.05	273.0	209.0	110.0	53.0	18.0	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,190.00	1,930.00	165.00	58.0	35.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	625.00	392.00	195.00	41.00	14.00	0.10	3.0
Cl [mg/L]	69.0	132.0	11.0	< 10.0	< 10.0	24.0	78.0	76.0	173.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.76	0.08	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.05	< 0.05	< 0.05	137.00	96.00	51.00	7.90	4.90	0.06	20.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.30	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.50
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.31	0.28	0.20	0.04	0.03	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	132.0	148.0	76.0	56,000.0	54,000.0	12,000.0	2,458.0	1,605.0	729.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	1,020.0	1,050.0	456.0	44,900.0	38,700.0	15,500.0	2,450.0	839.0	926.0	-

Cuadro 3-42 Análisis de Monitoreo Enero '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	13.44	-	-	-	-	-	75.50	45.07	41.45	-
pH	7.24	7.08	7.48	3.68	3.82	nd	4.49	4.57	6.52	6,0 - 8,5
t° [°C]	18.8	18.8	16.5	27.9	26.9	nd	19.8	20.4	16.9	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	18,660.0	3,380.0	nd	291.0	92.0	0.30	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	17,640.0	3,280.0	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	339.0	85.0	nd	35.0	17.0	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,710.0	136.0	nd	48.0	16.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	0.05	319.0	159.0	nd	38.0	22.0	< 0.05	3.0
Cl [mg/L]	49.0	82.0	< 10.0	20.0	12.0	nd	49.0	65.0	182.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.16	0.10	nd	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.07	< 0.05	0.10	136.0	44.00	nd	8.8	5.10	0.09	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.35	< 0.01	nd	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	3.60	0.19	nd	0.03	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	161.0	163.0	86.0	69,000.0	13,000.0	nd	3,351.0	1,881.0	883.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	1,000.0	1,150.0	446.0	43,500.0	11,400.0	nd	4,330.0	3,370.0	2,660.0	-

Cuadro 3-43 Análisis de Monitoreo Febrero '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	17.76	-	-	-	-	-	76.45	54.91	55.29	-
pH	7.15	7.36	7.46	3.38	3.60	2.91	4.43	4.52	6.62	6,0 - 8,5
t° [°C]	21.2	20.9	19.3	27.9	20.7	22.2	22.8	26.0	18.9	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	28,620.0	5,130.0	29.0	291.0	106.0	0.2	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	28,520.0	4,820.0	nd	nd	nd	nd	nd
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	277.0	272.0	13.0	45.0	28.0	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	5,360.0	551.0	9.19	60.0	45.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	371.0	230.0	20.0	34.0	25.0	0.31	3.0
Cl [mg/L]	57.0	122.0	< 10.0	19.0	12.0	59.0	65.0	84.0	181.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	0.76	0.08	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	181.0	84.0	1.31	10.0	7.1	0.36	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.55	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.56	0.29	0.01	0.04	0.02	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	166.0	180.0	96.0	102,000.0	22,000.0	2,779.0	3,319.0	3,147.0	1,008.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	533.0	1,170.0	297.0	9,930.0	6,780.0	3,270.0	4,580.0	3,800.0	1,920.0	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

Cuadro 3-44 Análisis de Monitoreo Marzo '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	16.05	-	-	-	-	-	81.61	78.46	68.14	-
pH	7.69	7.70	nd	3.80	3.34	3.43	4.82	5.17	7.22	6,0 - 8,5
t° [°C]	19.5	17.6	nd	29.1	21.1	23.4	27.9	26.3	16.2	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	nd	25,600.0	3,630.0	16.0	305.0	40.0	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	24,630.0	3,520.0	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	nd	366.0	85.0	9.30	40.0	17.0	0.11	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	nd	5,900.0	170.0	9.6	63.0	25.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	nd	229.0	213.0	18.0	42.0	17.0	1.50	3.0
Cl [mg/L]	58.0	96.0	nd	15.0	24.0	64.0	62.0	73.0	140.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	nd	33.0	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.05	0.18	nd	109.0	43.0	0.56	8.8	4.0	0.63	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	0.03	nd	0.86	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	nd	1.22	0.31	< 0.01	0.06	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	156.0	228.0	nd	95,000.0	16,000.0	2,270.0	3,190.0	1,820.0	1,250.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	885.0	950.0	nd	42,000.0	10,200.0	3,040.0	4,120.0	2,750.0	2,200.0	-

Cuadro 3-45 Análisis de Monitoreo Abril '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	16.97	-	-	-	-	-	103.00	66.24	75.92	-
pH	7.67	7.99	7.80	3.91	4.11	3.53	4.99	5.41	7.03	6,0 - 8,5
t° [°C]	14.4	7.7	10.1	22.9	14.8	11.6	17.1	18.2	11.1	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	25,000.0	6,300.0	18.0	274.0	24.0	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	24,280.0	5,380.0	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	442.0	203.0	7.7	35.0	11.0	0.16	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,000.0	345.0	6.0	50.0	15.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	633.0	291.0	12.0	26.0	8.1	1.70	3.0
Cl [mg/L]	61.0	105.0	< 10.0	18.0	26.0	70.0	60.0	67.0	150.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.03	< 0.03	< 0.03	40.0	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	0.26	0.09	194.0	58.0	0.61	7.9	2.9	0.45	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.78	0.27	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.39	0.33	< 0.01	0.06	0.03	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	139.0	176.0	94.0	89,000.0	22,000.0	1,908.0	3,348.0	1,353.0	1,012.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	764.0	1,129.0	417.0	56,500.0	14,450.0	3,760.0	5,170.0	3,050.0	2,760.0	-

Cuadro 3-46 Análisis de Monitoreo May '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	22.89	-	-	-	-	-	106.36	116.50	112.93	-
pH	7.65	7.61	7.00	3.85	3.20	3.41	4.80	5.51	7.13	6,0 - 8,5
t° [°C]	18.0	15.0	14.0	21.0	19.0	18.0	21.0	20.0	16.0	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	14,390.0	3,500.0	12.0	770.0	19.0	0.2	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	13,600.0	2,340.0	nd	560.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	242.0	80.0	34.0	29.0	11.0	0.17	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,000.0	156.0	81.0	219.0	91.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	404.0	179.0	18.0	25.0	8.5	1.3	3.0
Cl [mg/L]	48.0	92.0	< 10.0	< 10.0	39.0	43.0	61.0	71.0	143.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.70	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	148.0	41.0	1.7	8.7	2.2	0.81	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.94	0.12	0.03	0.06	0.03	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	135.0	150.0	89.0	45,000.0	13,000.0	2,375.0	2,775.0	975.0	838.0	2,000.0
Cond. [µS/cm]	907.0	1,101.0	453.0	38,700.0	10,970.0	4,140.0	4,840.0	2,790.0	2,500.0	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

Cuadro 3-47 Análisis de Monitoreo Junio '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	37.84	-	-	-	-	-	94.96	143.41	120.14	-
pH	7.50	7.58	7.93	2.63	3.71	2.89	5.37	5.29	6.96	6,0 - 8,5
t° [°C]	15.1	13.8	14.4	24.4	20.9	13.9	17.5	19.2	11.5	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.1	< 0.1	0.2	15,000.0	4200.0	14.0	33.0	0.6	0.2	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	13,680.0	3,200.0	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	317.0	191.0	8.9	15.0	6.9	0.06	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,000.0	406.0	3.0	23.0	10.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	710.0	276.0	17.0	17.0	9.7	3.3	3.0
Cl [mg/L]	41.0	85.00	< 10.0	17.0	132.0	43.0	61.0	63.0	118.0	10.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	5.20	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	3.0
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	2,000.0
Zn [mg/L]	< 0.05	0.10	< 0.05	243.0	55.0	1.0	3.6	2.5	0.36	1.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.85	0.31	0.02	0.04	0.03	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	117.0	141.0	88.0	56,000.0	18,000.0	1,950.0	1,400.0	863.0	725.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	960.0	1,318.0	465.0	57,400.0	13,700.0	3,140.0	2,340.0	1,871.0	2,020.0	-

Cuadro 3-48 Análisis de Monitoreo Julio '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	83.80	-	-	-	-	-	140.62	178.96	182.49	-
pH	7.82	7.34	7.87	3.50	2.90	3.47	5.43	5.89	7.15	6,0 - 8,5
t° [°C]	16.7	14.9	15.9	20.4	17.9	16.8	17.5	19.0	14.2	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	23,470.0	5,310.0	130.0	240.0	107.0	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	15,340.0	2,560.0	nd	230.0	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	184.0	58.0	290.0	18.0	8.0	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,448.0	135.0	184.0	47.0	28.0	1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	358.0	182.0	102.0	24.0	10.0	3.2	3.0
Cl [mg/L]	52.0	88.0	< 10.0	< 10.0	34.0	25.0	58.0	62.0	127.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.40	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	165.0	39.0	20.0	5.0	1.6	0.16	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	0.01	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.62	0.89	0.08	0.03	0.02	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	146.0	169.0	68.0	50,000.0	9,400.0	4,275.0	1,250.0	675.0	662.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	944.0	1,346.0	465.0	44,200.0	8,950.0	5,180.0	2,330.0	1,607.0	1,981.0	-

Cuadro 3-49 Análisis de Monitoreo Agosto '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	61.63	-	-	-	-	-	128.81	165.52	137.71	-
pH	7.64	7.49	7.36	3.10	3.95	3.53	5.18	5.45	6.80	6,0 - 8,5
t° [°C]	15.5	14.9	14.0	18.0	16.6	15.5	16.2	16.6	13.6	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	9,800.0	3,800.0	25.0	78.0	0.30	0.30	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd			nd		nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	99.0	190.0	401.00	17.0	5.80	< 0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	1,000.0	392.0	250.0	26.0	7.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	171.0	258.0	144.0	22.0	6.8	< 0.05	3.0
Cl [mg/L]	44.0	91.0	< 10.0	< 10.0	18.0	16.0	55.0	85.0	134.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.02	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.11	0.12	0.09	72.0	59.0	26.0	5.5	2.2	0.23	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.96	0.22	0.14	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	116.0	156.0	86.0	45,000.0	21,000.0	7,050.0	1975.0	875.0	712.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	1,084.0	1,468.0	544.0	37,900.0	23,200.0	11,400.0	4,540.0	2,290.0	2,730.0	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

Cuadro 3-50 Análisis de Monitoreo Septiembre '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	25.29	-	-	-	-	-	73.32	80.83	77.10	-
pH	7.98	7.68	7.52	2.97	2.91	3.49	4.99	5.53	7.20	6,0 - 8,5
t° [°C]	19.1	19.8	17.7	25.3	26.3	24.7	20.7	24.6	15.6	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	15,400.0	2,090.0	7.3	106.0	< 0.1	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	14,430.0	1,000.0	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	267.0	69.0	1200.0	22.0	5.8	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	2,000.0	142.0	652.0	37.0	4.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	116.0	59.0	75.0	12.0	7.6	0.07	3.0
Cl [mg/L]	53.0	116.00	12.0	< 10.0	20.0	< 10.0	67.0	83.0	159.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.54	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	0.08	201.0	37.0	68.0	5.2	1.80	1.30	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.12	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.38	0.19	0.41	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	127.0	171.0	89.0	139,000.0	15,000.0	4,100.0	2,275.0	788.0	838.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	839.0	1,114.0	424.0	49,400.0	10,660.0	5,400.0	2,800.0	1,442.0	1,790.0	-

Cuadro 3-51 Análisis de Monitoreo Octubre '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	14.47	-	-	-	-	-	74.59	93.02	77.79	-
pH	7.19	7.41	7.60	2.56	3.71	2.82	4.41	4.71	6.64	6,0 - 8,5
t° [°C]	18.5	16.5	15.4	25.4	22.4	23.1	20.8	23.3	17.1	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	17,110.0	5,740.0	138.0	222.0	33.0	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	16,090.0	4,630.0	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	295.0	349.0	350.0	31.0	15.0	0.05	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,000.0	786.0	151.0	70.0	35.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	638.0	420.0	161.0	8.9	4.9	1.20	3.0
Cl [mg/L]	61.0	110.0	11.0	< 10.0	12.0	26.0	65.0	73.0	150.0	10.0
As [mg/L]	0.008	0.010	< 0.005	0.008	0.025	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	3.0
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	2,000.0
Zn [mg/L]	0.31	< 0.05	0.35	229.00	231.00	94.00	8.90	4.90	0.48	1.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.21	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.14	0.39	0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	129.0	176.0	96.0	56,000.0	22,000.0	7,600.0	2,988.0	1,600.0	900.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	1,094.0	1,323.0	511.0	49,900.0	26,600.0	10,500.0	5,650.0	3,890.0	2,710.0	-

Cuadro 3-52 Análisis de Monitoreo Noviembre '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	12.46	-	-	-	-	-	74.17	69.65	67.76	-
pH	7.24	7.48	7.89	3.07	2.67	3.41	4.14	4.47	6.58	6,0 - 8,5
t° [°C]	25.3	33.1	20.1	25.1	27.1	29.7	25.6	28.0	25.0	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	0.3	12,150.0	5,810.0	450.0	458.0	31.0	0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	11,770.0	4,580.0	110.0	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	200.0	253.0	156.0	50.0	15.0	0.12	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	1,000.0	52.0	66.0	78.0	27.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	482.0	310.0	81.0	62.0	16.0	1.60	3.0
Cl [mg/L]	60.0	109.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0	33.0	49.0	67.0	164.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.049	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.08	< 0.05	0.08	241.0	88.0	7.3	12.0	4.0	0.55	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.03	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.84	0.37	0.10	0.06	0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	101.0	137.0	92.0	36,000.0	19,000.0	6,000.0	3,740.0	1,488.0	800.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	1,260.0	1,482.0	627.0	47,800.0	32,400.0	11,200.0	8,670.0	4,820.0	3,490.0	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

Cuadro 3-53 Análisis de Monitoreo Diciembre '01

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	11.71	-	-	-	-	-	74.19	82.93	65.43	-
pH	7.03	7.18	6.75	3.35	3.21	2.48	4.19	4.87	6.37	6,0 - 8,5
t° [°C]	18.7	19.2	16.1	24.2	23.2	22.5	22.5	23.2	20.3	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	< 0.1	< 0.1	10,700.0	5,140.0	360.0	821.0	27.0	0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	10,490.0	4,610.0	60.0	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	154.0	233.0	71.0	57.0	12.0	0.35	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	2,000.0	560.0	46.0	98.0	23.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	568.0	371.0	83.0	70.0	20.0	5.40	3.0
Cl [mg/L]	68.0	97.00	15.0	< 10.0	< 10.0	40.0	41.0	57.0	172.0	2,000.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	2.4	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	1.00
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.01
Zn [mg/L]	0.30	0.40	0.32	195.0	68.0	6.4	13.0	3.60	1.10	20.0
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.12	< 0.01	< 0.01	2.5
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.18	0.25	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	100.0	119.0	82.0	36,000.0	20,000.0	5,600.0	3,700.0	1,225.0	925.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	1,161.0	1,282.0	535.0	36,800.0	25,200.0	10,400.0	6,480.0	3,400.0	2,940.0	-

Cuadro 3-54 Análisis de Monitoreo Enero '02

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	10.4	-	-	-	-	-	83.39	54.13	44.56	-
pH	7.21	7.47	7.09	2.96	3.27	2.20	3.22	4.26	6.57	6,0 - 8,5
t° [°C]	19.2	18.2	16.6	25.1	21.3	21.00	22.2	21.3	19.0	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	< 0.1	0.20	0.20	15,000.0	5,600.0	188.00	677.0	136.0	0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	0.06	73.0	230.0	35.0	46.0	19.0	0.38	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	3,000.0	26.0	24.0	82.0	24.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	544.0	333.0	72.0	80.0	37.0	6.00	3.0
Cl [mg/L]	65.0	115.0	18.0	< 10.0	37.0	64.0	72.0	82.0	200.0	10.0
As [mg/L]	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.044	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	3.0
Hg [mg/L]	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	2,000.0
Zn [mg/L]	0.07	0.20	0.30	207.0	90.0	4.40	12.00	7.20	0.98	1.00
Mo [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01
Cd [mg/L]	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.50	0.32	0.02	0.05	< 0.01	< 0.01	0.30
SO ₄ [mg/L]	142.0	183.0	105.0	43,000.0	20,000.0	5,100.0	4,100.0	2,050.0	1,000.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	8.63	12.2	9.29	29.4	12.1	26.8	6.77	17.0	13.6	-

Cuadro 3-55 Análisis de Monitoreo Febrero '02

ELEMENTO	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 4A	M - 4B	M - 5	M - 6	M - 7	ESTÁNDAR
Q [lts/seg]	34.68	-	-	-	-	-	133.57	117.69	76.60	-
pH	7.12	7.21	7.01	2.96	3.51	5.03	3.53	4.89	6.22	6,0 - 8,5
t° [°C]	18.9	18.9	17.5	25.2	19.3	20.1	19.9	19.8	18.0	< 40,0
Fe _{Total} [mg/L]	0.2	0.2	0.1	18,000.0	866.0	982.0	956.0	36.0	< 0.1	10.0
Fe ⁺² [mg/L]	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
Cu [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	212.0	198.0	0.84	68.0	10.0	0.67	3.0
Al [mg/L]	< 1.0	< 1.0	< 1.0	4,000.0	425.0	7.0	104.0	12.0	< 1.0	10.0
Mn [mg/L]	< 0.05	< 0.05	< 0.05	516.0	294.0	79.0	99.0	20.0	7.4	3.0
Cl [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,000.0
As [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
Hg [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Zn [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.0
Mo [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5
Cd [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30
SO ₄ [mg/L]	133.0	174.0	82.0	29,000.0	18,000.0	6,300.0	4,800.0	1,359.0	912.0	2,000.0
Cond. [μS/cm]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

nd : no determinado

M-1: Estero El Ingenio (aguas arriba de la planta)

M-2: Manantial de agua potable

M-3: Agua de uso industrial (fuente río Talhuén)

M-4: Solución de descarte del proceso de producción de precipitado de cobre

M-4A: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas abajo)

M-4B: Infiltraciones de la poza de evaporación (aguas arriba)

M-5: Estero El Ingenio (500m aguas abajo de la planta)

M-6: Estero El Ingenio (2km aguas abajo de la planta)

M-7: Estero El Ingenio (5km aguas abajo de la planta)

Norma: normas para emisiones líquidas a ríos con capacidad de dilución.

4. Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana

4. Transferencia de Tecnología en Metodología de Oxidación Bacteriana

4.1 Resultados de Pruebas Básicas

Se realizaron pruebas básicas durante el primer estudio in situ y el segundo ciclo de trabajos en Japón. Durante el primer estudio in situ, se realizaron pruebas continuas de oxidación utilizando bacterias, así como pruebas de neutralización utilizando reactivos obtenidos en Chile, con el propósito de escalar los resultados al diseño conceptual de la planta modelo para el tratamiento de solución de descarte generada en el proceso lixiviación-precipitación. Durante el segundo ciclo de trabajos en Japón se efectuaron pruebas de oxidación, utilizando cepas de bacterias *Thiobacillus ferrooxidans* de Ovalle y Andacollo, con la finalidad de completar las pruebas básicas iniciadas en el primer estudio in situ y utilizar sus resultados para la elaboración del plan de pruebas en la planta modelo.

4.1.1 Resultados de Pruebas Básicas (1)

En las pruebas básicas realizadas durante el primer estudio in situ - en adelante Pruebas Básicas (1) -, se efectuaron los siguientes estudios y pruebas.

- Estudio de existencia de bacterias oxidantes
- Pruebas de oxidación bacteriana
- Pruebas de verificación de factores negativos para el cultivo de bacterias
- Pruebas de neutralización mediante uso de reactivos obtenidos localmente
- Pruebas de floculación y sedimentación de precipitados de neutralización
- Pruebas de secado de los precipitados de neutralización

A continuación se presentan los principales resultados.

(1) Estudio de Existencia de Bacterias Oxidantes

1) Objetivo

Se efectuaron pruebas de cultivo con muestras tomadas de la planta Ovalle con la finalidad de verificar la existencia de bacterias oxidantes de hierro.

2) Metodología

① Muestras utilizadas

El día 5 de Noviembre de 1999, se tomaron las siguientes muestras para el estudio en tres lugares de la planta Ovalle:

- Ⓐ Material adherido a la tubería de colección de solución de descarte hacia la alimentación de la primera poza de evaporación (pH 3 – 4, según papel indicador).
- Ⓑ Sedimentos acumulados al interior de la tubería de solución de descarte en el punto de descarga a la segunda poza de evaporación (pH 3, según papel indicador).
- Ⓒ Material adherido a los sedimentos de la primera poza de evaporación en el punto de descarga de la solución de descarte (pH 3 – 4, según papel de prueba).

② Metodología de Cultivo

Se inyectaron a cada una de las muestras Ⓐ, Ⓑ y Ⓒ para el cultivo de bacterias, la

solución 9K ¹⁾ (medio de cultivo líquido) descrita en el Cuadro 4-1; luego, se aplicaron a estas muestras silicagel coloidal ²⁾ (medio de cultivo sólido) descrito en el Cuadro 4-2, con la finalidad de observar el estado de crecimiento de las colonias.

En el proceso descrito arriba, se infiere que las bacterias originarias de las colonias son *Thiobacillus ferrooxidans* ³⁾.

Cuadro 4-1 Solución 9K

FeSO ₄ •7H ₂ O	44.22g
(NH ₄) ₂ SO ₄	3.0g
K ₂ HPO ₄	0.5g
MgSO ₄ •7H ₂ O	0.5g
KCl	0.1g
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	0.01g
Agua destilada	1000mL
pH ajustado entre 2.0 y 2.5 con H ₂ SO ₄	

Cuadro 4-2 Medios Sólidos

Silica Coloidal No.30 (Nissan Kagaku Co.,Ltd.)	900mL
(NH ₄) ₂ SO ₄	2.1g
K ₂ HPO ₄	0.35g
MgSO ₄ •7H ₂ O	0.07g
KCl	0.35g
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	0.007g
Agua Destilada	70mL
pH ajustado a 5.7 con H ₂ SO ₄	
Sol. Saturada de FeSO ₄	30mL
pH ajustado a 1.4 con H ₂ SO ₄	

3) Resultados

① Cultivo en Medio Líquido

El día 8 de noviembre de 1999, se iniciaron las pruebas de cultivo de bacterias, empleando el método agitado, añadiendo las muestras tomadas en la planta Ovalle en medios 9K. Luego de 4 días de iniciado el cultivo, es decir, el día 12 de noviembre, se observó el crecimiento de bacterias ferro-oxidantes en la muestra © (observación verificada por el viraje de color de la muestra a bermellón). Se observó el crecimiento de bacterias en las otras muestras hasta el 16 de noviembre, es decir, ocho días después de iniciado el cultivo. Se verificó mediante observaciones ópticas con el microscopio, la existencia de muchos bacilos con características de bacterias ferro-oxidantes.

② Cultivo en Medio Sólido

El día 16 de noviembre de 1999, se inició el cultivo de bacterias, insertando en medios sólidos de silicagel, los medios de cultivo líquidos descritos en ①, (en total, dos tipos de soluciones: una correspondiente a la muestra © que mostró el mejor crecimiento entre las tres muestras; y otra la cepa de Ovalle devuelta desde Japón). El objetivo de este cultivo en medios sólidos fue de generar colonias de bacterias. Se pudo verificar la formación de colonias luego de 6 días de haber iniciado el cultivo, es decir, el día 22 de noviembre. Al verificar su crecimiento satisfactorio, se inició el segundo cultivo en medio líquido, trasladando las colonias extraídas de los medios sólidos a la solución 9K.

③ Conservación de Cepas Aisladas

Con el cultivo de bacterias mencionado arriba, se verificó la existencia de bacterias ferro-oxidantes en las pozas de evaporación de la solución de descarte de la planta Ovalle. Se encargó a la contraparte chilena conservar estas cepas de Ovalle en el Laboratorio Bioquímico de la Planta El Salado.

(2) Pruebas de Oxidación Bacteriana

1) Objetivo

El objetivo de estas pruebas fue de verificar el tratamiento continuo de oxidación de iones ferrosos presentes en la solución de descarte de la Planta Ovalle, mediante cepas de bacterias ferro-oxidantes de Ovalle, así como de verificar la viabilidad del tratamiento de la misma, variando la concentración de Fe^{2+} .

2) Metodología

① Muestra utilizada

Se utilizaron muestras de cepas de bacterias ferro-oxidantes de Ovalle.

② Equipos utilizados

Se empleó la unidad experimental instalada en la planta El Salado con auspicio del mini-proyecto de JICA.

③ Generación de lodos portadores de bacterias

Se realizó la generación de bacterias ferro-oxidantes empleando el tanque de neutralización de la unidad experimental.

④ Pruebas de tratamiento continuo

a) La composición de la solución de descarte y período de pruebas

Las pruebas se efectuaron como se muestra en el siguiente cuadro.

b) Condiciones de Tratamiento.

Se realizó la prueba del tratamiento continuo de acuerdo a las siguientes condiciones.

Cuadro 4-3 Pruebas Básicas (1): Composición de Solución de Descarte y Período de Pruebas de Tratamiento Continuo

Período de pruebas	11/19 - 11/24(5 días)	11/24 - 11/29(5 días)	11/29 - 12/3(4 días)
Tipos de solución tratada	Solución preparada en laboratorio	Solución preparada en laboratorio	Solución de descarte de planta Ovalle
Composición	pH=3.5, Fe^{2+} =27g/L	pH=3.5, Fe^{2+} =45g/L	pH=3.3, Fe^{2+} =26g/L
Objetivo	Verificación puesta en marcha	Verificación variación calidad de agua	Aplicabilidad a la solución de descarte de Ovalle

Cuadro 4-4 Pruebas Básicas (1): Condiciones de Pruebas de Tratamiento Continuo

Item	Condiciones
Retorno de Lodos portadores	300mL/min
Flujo de Agua Tratada	100mL/min (=144L/día)
Tiempo de Retención en Tanques de Oxidación	unas 7.3horas
Flujo de Aire	5.5m ³ /h-4 celdas
Adición de Floculante Polimérico	5mg/L (Mitsui CYTEC A-95)
Adición de Nutriente	(NH ₄) ₂ HPO ₄ : 10mg/L (Adición sólo al inicio de pruebas a razón de 5mg/L)

3) Resultados

Se verificó la oxidación continua tanto en solución de descarte preparada en laboratorio como en la solución de descarte muestra de la planta Ovalle. La cinética de oxidación de Fe^{2+} fue de aproximadamente 0.55g/L-h. Al elevarse la concentración de Fe^{2+} en la solución de descarte, incrementó también la concentración de Fe^{2+} en los tanques de oxidación. Sin embargo, la cinética de oxidación de Fe^{2+} se mantuvo prácticamente estable en todo momento.

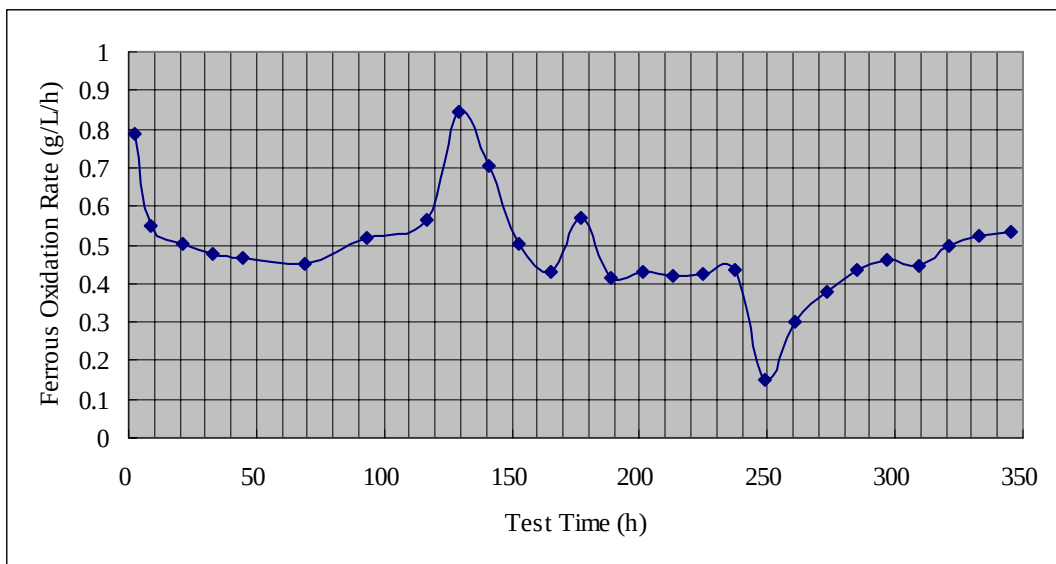


Figura 4-1 Prueba Básica (1): Variación en Cinética de Oxidación de Fe^{2+}

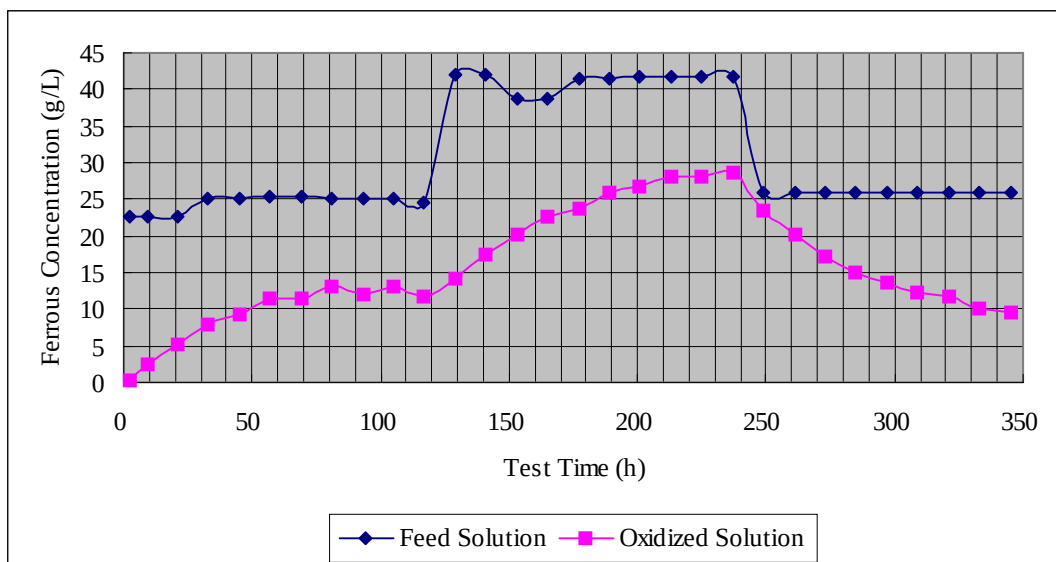


Figura 4-2 Prueba Básica (1): Variación en Concentración de Fe^{2+}

(3) Pruebas de Verificación de Factores Negativos para el Cultivo de Bacterias

1) Objetivo

Se verificó la existencia de factores negativos para el crecimiento de bacterias ferro-oxidantes en la solución de descarte de la planta de Ovalle, mediante el cultivo continuo (cultivo iterativo), utilizando solución de descarte real.

2) Metodología

① Muestra utilizada

Se utilizaron muestras de cepas de bacterias ferro-oxidantes de Ovalle.

② Concentración de nutrientes

Se realizó el cultivo de bacterias adicionando nutriente consistente en sales de fosfato de amonio a la solución de descarte de la planta Ovalle, variando las concentraciones como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-5 Condiciones de Adición de Nutriente

Prueba	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	Ⓓ	Ⓔ
Concentración de Nutriente (mg/L)	0	0.5	2.5	5	10

3) Resultados

El primer cultivo se realizó utilizando como el nutriente la solución 9K (sal inorgánica), ya que no era posible obtener $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, que es usado comúnmente como nutriente.

A partir del segundo cultivo, se utilizaron $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (reactivo) como nutriente.

Se solicitó a la contraparte chilena indagar la posibilidad de adquirir un producto correspondiente a $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (sal de fosfato de amonio para uso industrial).

En el primer cultivo, se utilizó solución de descarte de Ovalle sin ajustar su valor de pH.

A partir del segundo cultivo, se utilizaron la misma solución ajustando a 2.5 el valor de pH.

En el primer cultivo, se produjo gran volumen de sedimentos, observándose cierta tendencia a impedir el crecimiento de bacterias.

La metodología del cultivo empleada fue como se describe a continuación. Se trasladaron las soluciones de cultivo de cada serie (Ⓐ, Ⓑ y Ⓒ) en tubos de prueba de 10mL (3 tubos), colocando en cada uno de ellos 1mL de la solución de cultivo anterior de la misma serie. Por consiguiente, en cada iteración del cultivo diluir la influencia de sales remanentes de la solución 9K en que se cultivaron las bacterias iniciales. En los siguientes cuadros se muestran los resultados de estos cultivos. En ellos se observan que, en la serie Ⓐ, a la cual no se adicionó la sal nutriente, cada iteración del cultivo afectaba negativamente al crecimiento de bacterias.

En este caso se infiere que, el crecimiento de bacterias era posible al inicio debido a la presencia de sales nutrientes contenidas en la solución del cultivo adicionada a las bacterias iniciadoras. Sin embargo, la iteración del cultivo diluyendo las sales nutrientes mitigó el crecimiento de bacterias posteriormente.

Por los resultados descritos, se infiere que es imprescindible el uso de fosfato de amonio, como nutriente, para la puesta en marcha de la planta modelo.

Cuadro 4-6 Pruebas Básicas (1): Resultados del Cultivo Continuo (Cultivo Iterativo)

○Primer Cultivo

No.	Condición del Nutriente	1° Día	2° Día	3° Día	4° Día	5° Día	6° Día	7° Día	8° Día
Ⓐ	Sin 9K	----	----	----	----			+++	+++
Ⓑ	(1/20)Veces 9K	----	----	----	----			+++	+++
Ⓒ	(1/4)Veces 9K	----	----	----	±±±			+++	+++
Ⓓ	(1/2)Veces 9K	----	----	----	±±±			+++	+++
Ⓔ	(1)Vez 9K	----	----	----	±±±			+++	+++

○Segundo Cultivo

No.	Condición del Nutriente	1° Día	2° Día	3° Día	4° Día	5° Día	6° Día
Ⓐ	0mg/L	----	----	----		-±±	±±±
Ⓑ	0.5mg/L	----	----	±±±		±++	+++
Ⓒ	2.5mg/L	----	----	±±±		±++	±++
Ⓓ	5mg/L	----	----	±±±		±++	±++
Ⓔ	10mg/L	----	----	±±±		±++	+++

○Tercer Cultivo

No.	Condición del Nutriente	1° Día	2° Día	3° Día	4° Día	5° Día	6° Día
Ⓐ	0mg/L	----	----	----			----
Ⓑ	0.5mg/L	----	----	±±±			+++
Ⓒ	2.5mg/L	----	----	±±±			+++
Ⓓ	5mg/L	----	----	±±±			+++
Ⓔ	10mg/L	----	----	±±±			+++

○Cuarto Cultivo

No.	Condición del Nutriente	1° Día	2° Día	3° Día	4° Día	5° Día	6° Día	7° Día
Ⓐ	0mg/L							
Ⓑ	0.5mg/L	----	----	----	±±±			+++
Ⓒ	2.5mg/L	----	----	----	±±±			+++
Ⓓ	5mg/L	----	----	----	±±±			+++
Ⓔ	10mg/L	----	----	----	±±±			+++

(Notas)

—:Sin cambio de color ±:Ligero cambio de color +:Cambio de color

(4) Pruebas de Neutralización – Floculación – Sedimentación

1) Objetivo

Se realizaron pruebas de neutralización, floculación y sedimentación utilizando reactivos que son posibles de adquirir en Chile, utilizando solución de descarte de la planta Ovalle, con el fin de determinar los parámetros de diseño del proceso de neutralización de la planta modelo.

2) Items de Pruebas

Se realizaron las siguientes pruebas:

- Análisis de la solución de descarte de la planta Ovalle
- Pruebas de neutralización con carbonato de calcio
- Pruebas de neutralización con cal apagada
- Pruebas de filtración
- Pruebas de floculación – sedimentación

3) Metodología y Resultados

① Análisis de la Solución de Descarte de la Planta Ovalle

a) Calidad de Aguas

Se analizó la solución de descarte de la planta Ovalle tomada in situ y trasladadas a la planta El Salado, cuyo resultado se muestra en los siguientes cuadros. En el Cuadro 4-7 se muestra también los resultados de los análisis efectuados en Japón sobre muestras llevadas por la Misión. Además, se utilizaron las muestras de solución de descarte almacenadas en el laboratorio bioquímico, tomadas en la planta Ovalle dos meses antes del inicio de las pruebas. En el Cuadro 4-8 se presenta la calidad de estas muestras.

Cuadro 4-7 Calidad de Solución de Descarte de la Planta Ovalle
(Tomadas el 5 de Nov. de 1999)

Item	pH	Fe ²⁺ (g/L)	Fe-T (g/L)	Cu (g/L)	Mn (g/L)	Zn (g/L)	Sn (mg/L)	Al (g/L)	Cd (mg/L)
Análisis en Chile	3.7	23.40	23.53	0.07	0.974	0.24	N.D.	9.7	0.18
Análisis en Japón	—	—	24.30	0.07	1.110	0.22	N.D.	4.4	0.70

Item	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (g/L)	Cr (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (g/L)	Cl ⁻ (g/L)	Peso específico
Análisis en Chile	N.D.	—	13.5	3.7	25.2	N.D.	75.8	0.22	1.1064
Análisis en Japón	2.8	38.0	9.4	4.2	16.1	—	77.0	—	—

Cuadro 4-8 Calidad de Solución de Descarte de la Planta Ovalle
(Tomadas aprox. dos meses previos a las pruebas y almacenadas en laboratorio)

Item	pH	Fe ²⁺ (g/L)	Fe-T (g/L)	Cu (g/L)	Mn (g/L)	Zn (g/L)	Sn (mg/L)	Al (g/L)	Cd (mg/L)
Análisis en Chile	3.3	25.93	26.95	0.30	—	—	—	—	0.2

Item	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (g/L)	Cr (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (g/L)	Cl ⁻ (g/L)	Peso específico
Análisis en Chile	N.D.	—	11.4	4.5	—	N.D.	74.95	0.37	—

b) Cantidad de álcali requerido para la neutralización

Se reconoció la cantidad de álcali requerida para la neutralización de la solución de descarte utilizando solución estándar de NaOH (10 N). Las soluciones (de descarte) fueron previamente reguladas oxidándolas con reactivo (H₂O₂). Se muestran a continuación los requerimientos de álcalis de solución de descarte oxidada y no oxidada.

Cuadro 4-9 Pruebas Básicas (1): Alkali requerido para la neutralización de solución no oxidada (solución de descarte)

pH	3.7	4.0	5.8	6.0	6.5	7.0	7.5
Consumo de Alkali (Equivalente)	0	0.2	0.42	0.45	0.525	0.675	0.83

pH	8.0	8.3	8.5	9.0	10.0	10.5	11.0
Consumo de Alkali (Equivalente)	1.025	1.07	1.1	1.14	1.28	1.4	1.45

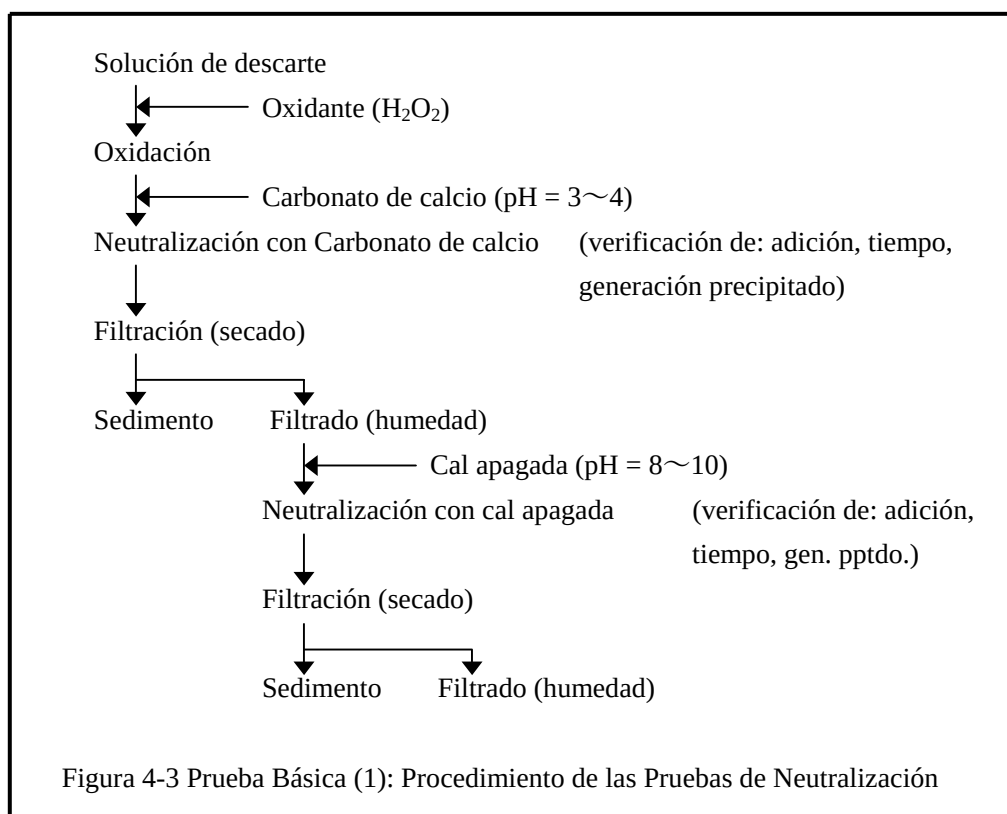
Cuadro 4-10 Pruebas Básicas (1): Alkali requerido para la neutralización de solución oxidada (solución de descarte oxidada)

pH	1.9	2.0	2.5	3.0	3.3	3.5	4.0	4.5
Consumo de Alkali (Equivalente)	0	0.05	0.38	0.531	0.61	0.67	0.81	0.87

pH	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.5	11.0
Consumo de Alkali (Equivalente)	0.91	0.975	1.055	1.17	1.365	1.41	1.445	1.5

② Pruebas de Neutralización y Secado

Se realizaron pruebas de neutralización de acuerdo al siguiente procedimiento. Para las pruebas se empleó la unidad experimental (tanques de neutralización y filtro-prensa) del mini-proyecto mencionado.



a) Pruebas de Neutralización con Carbonato de Calcio

De los anteriores resultados, se adoptaron los siguientes datos como parámetros de diseño del circuito de neutralización con carbonato de calcio de la planta modelo.

Cuadro 4-11 Pruebas Básicas (1): Resultado de Pruebas de Neutralización con Carbonato de Calcio

Item	Resultado
pH de Neutralización	pH=3.0: por ser relativamente poco el volumen de consumo de carbonato de calcio, así como por la remanencia de cobre (para su recuperación).
Adición de Carbonato de Calcio	32.9g/L
Tiempo de Neutralización	120 minutos
Generación de Sedimentos	100g/L (no se pudo realizar la separación sólido-líquido debido a que el volumen de los sedimentos en la solución neutralizada resultó ser del 100% en volumen)
Humedad de Torta	60%

b) Prueba de Neutralización con Cal Apagada

Se realizó la prueba de neutralización con cal apagada, de la solución oxidada y neutralizada con carbonato de calcio. Esta prueba se realizó con la solución filtrada tomada en la prueba de neutralización con carbonato de calcio.

i) Calidad de aguas de solución oxidada y neutralizada con carbonato de calcio

La calidad de aguas del filtrado post neutralización con carbonato de calcio a pH=3 se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-12 Pruebas Básicas (1): Calidad de Solución Oxidada y Neutralizada con Carbonato de Calcio

Item	pH	Fe-T (g/L)	Cu (mg/L)	Al (g/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Mn (g/L)	Pb (mg/L)	Zn (g/L)
Análisis en Chile	3.4	1.71	61.6	4.05	-	0.28	0.95	-	0.219
Análisis en Japón	-	2.28	62.2	3.04	0.51	0.64	1.11	0.8	0.221

ii) Alkali requerido para la neutralización de solución oxidada y neutralizada con carbonato de calcio

Se reconoció la cantidad de álcali requerida para la neutralización de la solución oxidada y neutralizada con carbonato de calcio utilizando solución estándar de NaOH (10 N). Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-13 Pruebas Básicas (1): Alkali requerido para la neutralización de solución neutralizada con carbonato de calcio

Filtrado de la neutralización con carbonato de calcio (pH objetivo: 3)								
pH	3.1	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0
Consumo de Alkali (equivalente)	0	0.145	0.345	0.366	0.41	0.61	0.71	0.74

iii) Resultados

De los anteriores resultados, se adoptaron los siguientes datos como parámetros de diseño del circuito de neutralización con cal apagada de la planta modelo.

Cuadro 4-14 Pruebas Básicas (1): Resultado de Pruebas de Neutralización con Cal Apagada

Item	Resultado
pH de Neutralización	pH=9
Adición de Cal Apagada	35.24g/L
Tiempo de Neutralización	60 minutos
Generación de Sedimentos	82.05g/L
Humedad de Torta	60%

③ Requerimiento de Alkali para cada Proceso

Con el objeto de comparar los resultados de las pruebas de oxidación bacteriana y neutralización con carbonato de calcio, con los del sistema de neutralización de una etapa utilizando sólo cal apagada, se realizaron las siguientes pruebas cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro. Se observa que bajo las condiciones dadas, la eliminación de hierro contenido en la solución de descarte requiere elevar el valor de pH por encima de 9.0. Para ello la cantidad de cal apagada requerida fue de 67.75g/L, que corresponde a 1.61 unidades equivalentes según la curva de neutralización de solución no oxidada.

Cuadro 4-15 Pruebas Básicas (1): Resultados de Pruebas de Neutralización de Aguas No Oxidadas con Cal Apagada

pH (Meta)	8.0	9.0	10.0
Cantidad Teórica de Adición de Cal Apagada	37.925g/L	42.18g/L	47.36g/L
Adición de Cal Apagada	54.9g/L (1.45 Equivalente)	67.75g/L (1.61 Equivalente)	76.7g/L (1.62 Equivalente)
Método de Adición	Adición en Polvo	Adición en Polvo	Adición en Polvo
Tiempo de Neutralización	60 Minutos	60 Minutos	60 Minutos
pH Final	8.0	9.3	10.1
Fe-T	1.15g/L	N.D.	N.D.
Mn	160mg/L	4.6mg/L	N.D.
Zn	—	—	—
Cd	—	—	—
Pb	—	—	—
Al	N.D.	N.D.	N.D.
Volumen de Sedimento Generado	100v/v%	100v/v%	100v/v%

De los resultados de las pruebas mencionadas, es posible comparar tal como se muestra en el siguiente cuadro, el nivel de consumo de reactivos neutralizantes en los dos procesos de neutralización: el de oxidación - neutralización con carbonato de calcio - neutralización con cal apagada, y el de neutralización con cal apagada de una etapa. El Cuadro 4-16 muestra notoriamente que el costo del neutralizante es más bajo en el proceso de oxidación - neutralización con carbonato de calcio - neutralización con cal apagada.

Cuadro 4-16 Pruebas Básicas (1): Comparación de la Cantidad de Consumo del Neutralizante

Proceso de Tratamiento	Consumo de Neutralizante		Valor en US\$
	Carbonato de Calcio	Cal Apagada	
Oxidación - Neutralización con Carbonato de Calcio y Cal Apagada	32.9kg/m ³	35.24kg/m ³	US\$3.38/m ³
Neutralización con Cal Apagada en Una Etapa	—	67.75kg/m ³	US\$9.69/m ³

Precios Unitarios de Neutralizantes: Investigado por ENAMI

Carbonato de Calcio=US\$0.00589/kg

Cal Apagada=US\$0.0935/kg

El valor en la columna de Oxidación - Neutralización con Carbonato de Calcio - con cal Apagada, corresponde al costo por m³ para neutralizar una décima parte de la totalidad de la solución de descarte (del balance de materia en planta modelo), y el valor en Neutralización con Cal Apagada en Una Etapa al costo por m³ para neutralizar la totalidad de la solución de descarte.

④ Pruebas de Floculación – Sedimentación

Se realizaron pruebas de floculación y sedimentación sólo con los lodos portadores de bacterias generados que requerirán del proceso de separación sólido-líquido, debido a que en el proceso de la planta modelo, los sedimentos de neutralización se enviarían directamente al filtroprensa.

a) Pruebas Preliminares

Se disolvió en agua 1 g/L de cada uno de los tres floculantes: productos Nos. 9873 y 9602 (Cia. NALCO) y A-95 (Mitsui CYTEC) llevados desde Japón, con el fin de realizar pruebas comparativas de floculación. Se compararon a diferentes concentraciones de adición, 1mg/L, 3mg/L, 5mg/L, de cuyos resultados se observó notoriamente los efectos de floculación de A-95. Basado en estos resultados, se decidió utilizar A-95 en las pruebas continuas de oxidación llevadas a cabo en la unidad experimental, solicitándose a la parte chilena seguir indagando la posibilidad de adquirir localmente un producto equivalente al A-95 (A-100 de CYTEC de fabricación norteamericana o su equivalente).

En las pruebas preliminares, los efectos de floculación resultaron como sigue:

En grado descendente del poder de floculación: A-95>>9873>9602.

b) Pruebas Determinantes

Se realizaron pruebas de floculación y sedimentación utilizando floculantes poliméricos, A-95 (marca Mitsui CYTEC), 9873 (marca NALCO), y Betz Dearborn F-18, cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-17 Pruebas Básicas (1): Resultado de Pruebas de Floculación y Precipitación de Sedimentos Portadores de Bacterias

Tipos de Floculantes Poliméricos	SS(mg/L) en Agua Decantada a Cinética de Sedimentación 1m/h				
	Concentración de Adición de Floculantes Poliméricos				
	1mg/L	2mg/L	3mg/L	5mg/L	10mg/L
A-95	2.7	2.0	1.7	—	—
9873	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante
F-18	—	—	6.1	4.7	2.3

Con el floculante 9873 se observó poco efecto de floculación y no se obtuvo agua clarificada. Por otra parte, con A-95 se obtuvieron buenos resultados tal como se observa en el Cuadro 4-17-aun a bajas concentraciones de adición-, se verificó el efecto de floculación con F-18 que se adquirió luego de las pruebas preliminares. Estas pruebas se realizaron para los lodos portadores de bacterias generados en las “pruebas de oxidación bacteriana”. No obstante, debido a que la solución de descarte real de la planta Ovalle contiene altas concentraciones de sales, aun no se ha establecido si es posible obtener los mismos efectos observados en estas pruebas para ella. En la operación de la planta modelo,

se planea adquirir varios floculantes poliméricos equivalentes a A-95, Betz Dearborn F-18, etc., con la finalidad de verificar los efectos de cada una de ellas y seleccionar a la mejor.

Referencia Bibliográfica

- 1) Silverman, M. P. and Lundgren, D. G. J. Bacteriol., vol.77, p.642-647, (1959)
- 2) Kawarasaki, T. and Yamaguchi, M. Report of the Fermentation Research Institute, vol.72, No.9, p.55-59, (1989)
- 3) Yamanaka Tateo. Biseibutsu no Energy Taisha, Gakkai Syuppan Center, (1986)

4.1.2 Resultados de Pruebas Básicas (2)

Se denominarán como Pruebas Básicas (2) a las pruebas de oxidación bacteriana continua realizadas durante el segundo ciclo de trabajos en Japón.

(1) Objetivo

Se efectuaron estas pruebas con el objeto de reconocer las relaciones entre las cepas de bacterias utilizadas y la cinética de oxidación.

Las pruebas de oxidación de las Pruebas Básicas (1), fueron efectuadas con cepas de Ovalle, ya que el objetivo consistió en utilizar cepas ambientadas a la solución de descarte de la planta Ovalle. Sin embargo, la cinética de oxidación de hierro obtenida en dichas pruebas alcanzó un valor relativamente bajo de 0.55g/L-h. Por otro lado, se contó con la información de los resultados las pruebas del mini-proyecto realizado en el laboratorio bioquímico de la planta El Salado, en la cual se había logrado oxidar continuamente Fe^{2+} de alta concentración, a una cinética por encima de 0.55g/L-h utilizando cepas de Andacollo. Por tanto, se decidió comparar la capacidad de oxidación de hierro de las cepas de Ovalle y Andacollo bajo las mismas condiciones, y analizar los resultados de estas pruebas con el fin de determinar cuál cepa utilizar para la puesta en marcha de la planta modelo.

(2) Metodología

1) Bacterias ferro-oxidantes

Se utilizaron las siguientes tres cepas:

① Cepas de Ovalle

Cepas de Ovalle usadas en las Pruebas Básicas (1), multiplicándolas mediante la adición de 9 K.

② Cepas de Andacollo

Cepas de Andacollo conservadas en el laboratorio bioquímico de El Salado cedidas por la contraparte chilena y transportadas al Japón. Multiplicados mediante adición de solución 9K para las pruebas de comparación.

③ Mixtura de Cepas de Ovalle y Andacollo

Cepas de Andacollo conservadas en el laboratorio bioquímico de El Salado cedidas por la contraparte chilena y transportadas al Japón. Multiplicados mediante adición de solución 9K para las pruebas de comparación. Estas cepas fueron previamente mezcladas por la contraparte chilena en el laboratorio bioquímico, conservadas por largo tiempo y cultivadas

mediante sistema iterativo continuo.

2) Equipos utilizados

Se utilizaron equipos de pruebas consistentes de un tanque de oxidación de 3.6 L y un tanque de sedimentación de 6.4 L. Estos equipos se utilizaron frecuentemente, en pruebas de comparación cualitativa de bacterias ferro-oxidantes.

En estas pruebas, se utilizaron tres de estos equipos, uno para cada tipo de cepa.

Se calculó la capacidad operacional del tanque de oxidación en: $3.6 \text{ L} \times 0.9 = 3.24 \text{ L}$, considerando en 10 % la elevación de nivel por suministro de aire y el volumen de retención de portadores de bacterias.

3) Condiciones de pruebas

① Calidad de las soluciones tratadas

Se elaboraron soluciones a ser tratadas utilizando reactivos sulfatados como se muestra en el Cuadro 4-18, simulando la calidad de la solución de descarte de la planta Ovalle y de las soluciones tratadas utilizadas en las Pruebas Básicas (1).

② Condiciones

Se efectuaron pruebas de tratamiento continuo bajo las condiciones que se muestran en el Cuadro 4-19.

Cuadro 4-18 Pruebas Básicas (2): Calidad de Soluciones Tratadas

Items	pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu	Mn	Zn	Al	Mg	SO ₄ ²⁻
Valor Establecido	3	25g/L	25g/L	70mg/L	1.0g/L	200mg/L	4.0g/L	4.0g/L	80g/L

Cuadro 4-19 Pruebas Básicas (2): Condiciones de Tratamiento Continuo

Items	Condiciones		
Flujo de Solución Tratada	0.9mL/min	1.35mL/min	1.8mL/min
Tiempo de Retención en Tanque de Oxidación	60h	40h	30h
Volumen Aire Suministrado	0.45m ³ /m ² (Tanque de Oxidación)/min		
Volumen Adición de Nutrientes	(NH ₄) ₃ PO ₄ ·3H ₂ O = 5mg/L		

(3) Resultados

En las Figuras 4-4 y 4-5 se muestran las comparaciones de la cinética de oxidación de Fe²⁺ y concentración de Fe²⁺ en las soluciones tratadas con cada una de las cepas probadas.

Se regularon los flujos de las soluciones tratadas de modo que el tiempo de retención en el tanque de oxidación fuera de 60h hasta 264h de iniciada la corrida, 40h de entre 288h y 600h, y 30h entre 624h y 864h respectivamente. En la Figura 4-5 se observa que queda remanente Fe²⁺ no oxidado en las soluciones tratadas con todas estas cepas, bajo las condiciones del tiempo de retención probadas. Por tanto, se consideró evaluar la cinética de oxidación, bajo las condiciones de 30h de retención en el tanque de oxidación.

Según la Figura 4-4, la cinética de oxidación de Fe²⁺ fue de 0.45g/L-h con las cepas de Ovalle, y de 0.65g/L-h tanto con las cepas de Andacollo como con la mixtura de cepas de Ovalle y Andacollo. Se pudo confirmar así que las cepas de Andacollo eran superiores a las de Ovalle.

En oxidación, la mixtura de cepas resultó ligeramente inferior al inicio con respecto a las cepas de Andacollo. Sin embargo, con el avance de las pruebas, las dos cepas llegaron a mostrar resultados similares.

Se realizaron pruebas de oxidación -Pruebas Básicas (1)-, utilizando la unidad experimental del laboratorio bioquímico de la planta El Salado, obteniéndose como resultado, tal como se mencionó anteriormente, una cinética de oxidación de 0.55g/L-h con las cepas de Ovalle. La oxidación del Fe^{2+} ocurre mediante el metabolismo bacteriano en medio aeróbico. Por tanto, los resultados difieren según la forma de los equipos (profundidad de la solución, grado de dispersión del aire, etc.).

Por los resultados de las Pruebas Básicas (1) y (2), se infiere que el coeficiente entre los equipos utilizados en estas pruebas y la unidad experimental es $(0.55/0.45) = 1.22$. De lo anterior, se deduce que la cinética de oxidación será $0.65 \times 1.22 = 0.8 \text{ g/L-h}$, si realizáramos la oxidación en la unidad experimental utilizando las cepas de Andacollo. Debido a que en la planta modelo, los equipos de oxidación son más grandes en comparación con los de la unidad experimental, se espera que las condiciones de operación serán mejoradas obteniéndose buena actividad bacteriana.

Lo anterior nos permite inferir que mediante los efectos del escalamiento es posible obtener una cinética de oxidación de 1 g/L-h en las pruebas de verificación en planta modelo, de acuerdo a los objetivos del presente estudio.

A partir de estos resultados, se determinó que las bacterias ferro-oxidantes a ser utilizadas para la puesta en marcha de la planta modelo sean las cepas de Andacollo.

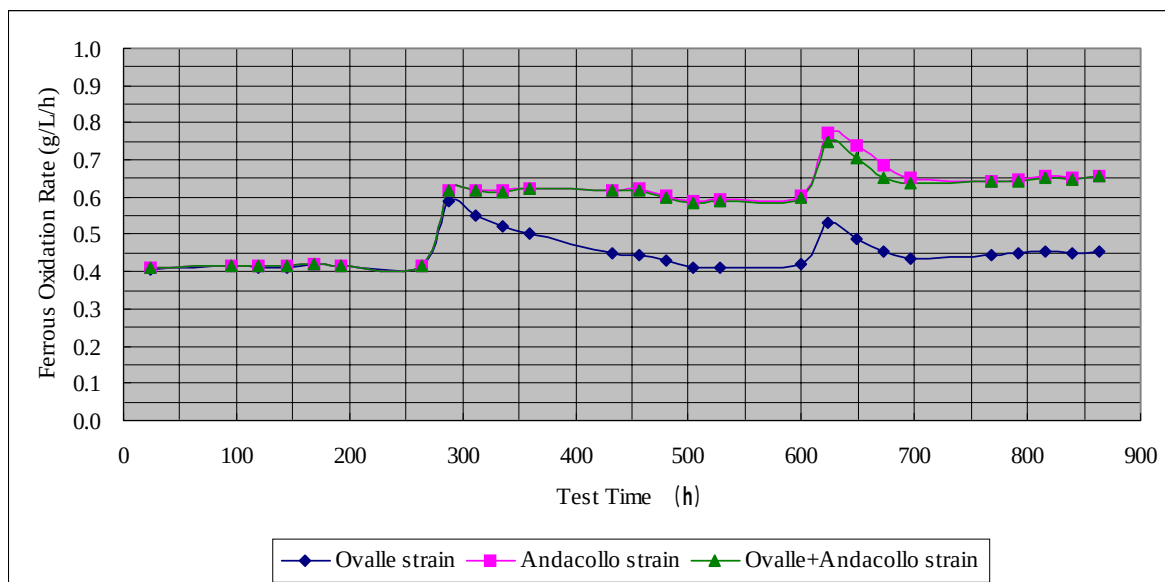


Figura 4-4 Pruebas Básicas (2): Comparación de Cinética de Oxidación de Fe^{2+}

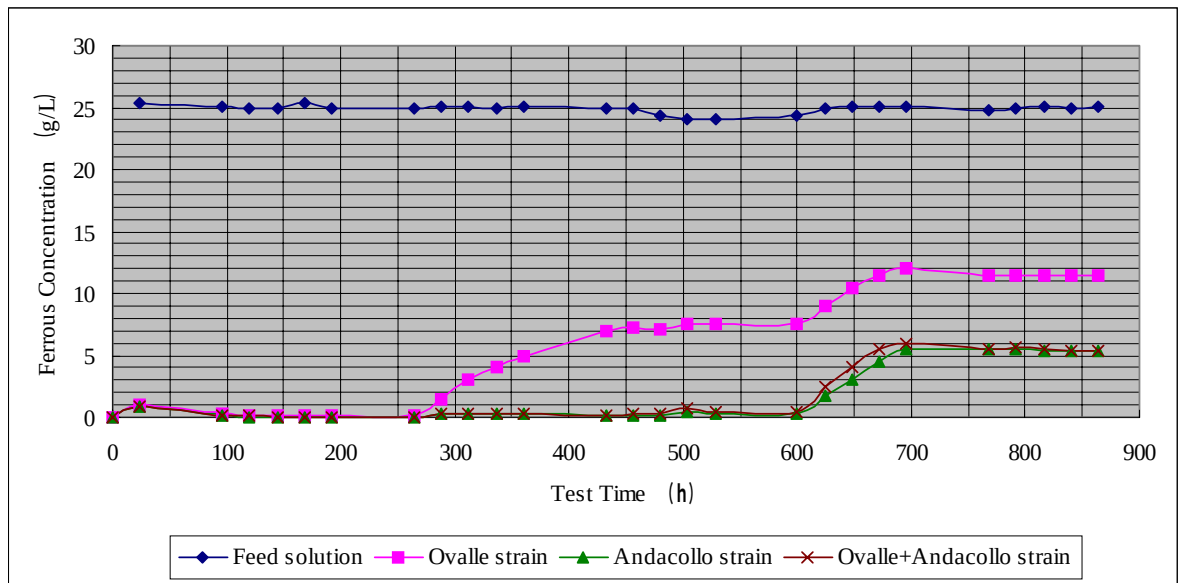


Figura 4-5 Pruebas Básicas (2): Variación de Concentración de Fe^{2+} en Soluciones Tratadas

4.2 Descripción y Construcción de Planta Modelo

4.2.1 Construcción de Planta Modelo

El diseño, envío de los equipos y materiales necesarios hasta Chile y la supervisión del montaje de la planta modelo de acuerdo a Los Alcances de Trabajo (*Scope of Works*), suscrito entre los gobiernos de Chile y Japón en julio de 1999, estuvo a cargo de la misión japonesa; y por su parte la contraparte chilena se encargó del transporte local, obras civiles de los cimientos, construcción y montaje, culminándose a principios de septiembre de 2001, encontrándose actualmente en operaciones de prueba. A continuación se describen las características de la planta modelo.

4.2.2 Descripción de la Planta Modelo

(1) Flujo del Proceso

En principio se procedió a determinar el proceso entre dos opciones: opción A sin incluir la operación de regulación de pH; y, B incluyéndola. Durante el primer estudio in situ se acordó entre las partes por la opción B, que permite evitar la concentración de otros metales pesados aparte del hierro. En la Figura que se muestra a continuación se muestra el diagrama de flujo de la opción B.

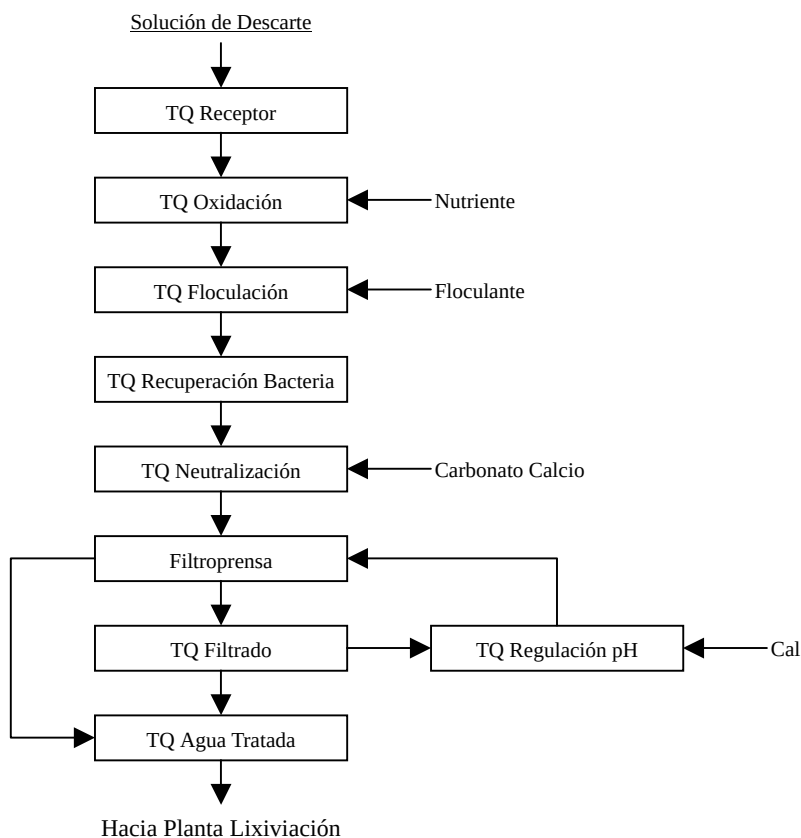


Figura 4-6 Diagrama de Flujo del Proceso: Planta Modelo

(2) Fundamentos de Diseño

A continuación se describen los fundamentos de diseño de la planta modelo.

1) Especificaciones de la solución de descarte de lixiviación

En el Cuadro 4-20 se muestra los parámetros de la solución de descarte a ser alimentada a la planta modelo, determinados entre las partes, basados en los datos recopilados durante el primer estudio in situ.

Cuadro 4-20 Especificaciones de la Solución de Descarte

pH	Fe ²⁺ (g/L)	T-Fe (g/L)	Cu (g/L)	Mn (g/L)	Zn (g/L)	Al (g/L)
3.7	30	30	0.26	0.97	0.24	9.7

2) Capacidad de Tratamiento de la Planta Modelo

Se estableció como objetivo, la capacidad de tratamiento de la planta modelo en 100m³/día.

3) Velocidad de Oxidación

La velocidad de oxidación se estableció en 1.0g/L-h.

De acuerdo a los resultados de las pruebas en laboratorio, se obtuvo un resultado de 0.55g/L-h; sin embargo, dado que generalmente los resultados de la oxidación mejoran con el tamaño del tanque de oxidación, y por otro lado, el cultivo de las bacterias *Thiobacillus ferrooxidans* mejoran con un proceso continuo de largo alcance, se infirió que esta velocidad de oxidación obtenida en laboratorio debe considerarse como valor mínimo. Razones por las cuales se estableció la velocidad de oxidación del ión ferroso a 1g/L-h (como valor objetivo), valor que se obtienen en los procesos de tratamiento de drenaje ácido de minas en Japón.

4) Generación de Precipitados de Neutralización

En los resultados de las pruebas de laboratorio, se generaron 100g/L de precipitados en la operación de neutralización. De este resultado y de lo descrito en el Cuadro 4-20, se obtiene un valor corregido de 101g/L.

5) Generación de Precipitados de Regulación de pH

De los resultados de las pruebas en laboratorio se estableció en 82.05g/L.

(3) Especificaciones de las Instalaciones

En función a los parámetros de diseño descritos arriba, se procedieron a seleccionar los equipos.

En el Cuadro 4-21 se muestran los principales equipos.

(4) Ubicación de la Planta Modelo

La ubicación de la planta modelo se estableció en una zona próxima a la operación de precipitación de cobre de la Planta Ovalle, acordado entre las partes. Esta ubicación permite una cómoda recepción de la solución de descarte, asimismo, en los alrededores existe suficiente espacio para una futura expansión de la planta. En la Figura 4-7 se muestra el plano de ubicación de la planta.

(5) Método de Operación Automatizada

Debido a las características de la planta modelo, que no permite frecuentes paradas de operaciones, no se procedió a automatizar el proceso íntegramente, mas bien se optó por automatizar la continuidad entre operaciones controlada por los valores fijados en el sistema de instrumentación. Además, se estableció una sala de control al lado de la planta desde donde se opera básicamente la planta, y paralelamente se instalaron paneles de control e interruptores de emergencia *in situ* con el fin de permitir la operación manual en la misma planta.

Cuadro 4-21 Lista de Principales Equipos

ITEM No.	Equipo	Cantidad	Especificaciones	Potencia (kw)	Accesorios
T2	Estanques de Oxidación	3	Tipo: Tanque Cilíndrico (Con Deflectores en el Interior) Capacidad: 57.3 m ³ Material: FRP Dimensiones: 3750 ϕ × 5900H		pH-metro
T4	Espesador Recuperador de Bacterias	1	Tipo: Tanque Cilíndrico Dimensiones: 3300 ϕ × 2500H Material: FRP Accesorio: Rastrillo	0.75	
B1	Compresor de Oxidación	1	Tipo: Soplador Roots Potencia: 14.85 m ³ /min × 7000mmAq Material: FC, etc	37 0.2	Medidor de Flujo Invertidor
P2	Bomba para Transporte de Lodos	1	Tipo: Bomba Centrífuga Potencia: 50L/min × 20mH Material: Superficie de Contacto en FC+R/L	1.5	
P3	Bomba de Alimentación de Lodos	1	Tipo: Bomba Centrífuga Giro: 1200L/min × 40mH Material: Superficie de Contacto en FC+R/L	22	
P4	Bomba de Alimentación de Nutriente	1	Tipo: Bomba de Diafragma de Flujo Constante Potencia: 450mL/min Material: Superficie de Contacto en PVC,PTFE	0.2	
P5	Bomba de Alimentación de Floculante	1	Tipo: Bomba de Diafragma de Flujo Constante Potencia: 850mL/min Material: Superficie de Contacto en PVC,PTFE	0.2	
T11	Estanques de Neutralización	1	Tipo: Tanque Cilíndrico (Con Deflectores en el Interior) Capacidad: 9.5 m ³ Material: FRP Dimensiones: 1650 ϕ × 5150H		pH-metro
F1	Alimentador de Neutralizante	1	Tipo: Alimentador Sinfin Potencia: 825kg/h Material: SS Accesorio: Aire Comprimido, Filtro de Saco	1.5 0.75	
T12	Tanque Preparador Pulpa de Neutralizante	1	Tipo: Tanque Cilíndrico Capacidad: 0.82 m ³ Material: FRP Dimensiones: 900 ϕ × 1600H Accesorio: Agitador		Interruptor de Nivel
P7	Bomba de Neutralizante	1	Tipo: Bomba Centrífuga Potencia: 50L/min × 20mH Material: Superficie de Contacto en FC+R/L	1.5	
B2	Compresor de Neutralización	1	Tipo: Soplador Roots Potencia: 1.0m ³ /min × 6000mmAq Material: FC, etc.	3.7	Medidor de Flujo Invertidor

Cuadro 4-21 Lista de Principales Equipos

ITEM No.	Equipo	Cantidad	Especificaciones	Potencia (kw)	Accesorios
T13	Tanque Alimentador al Filtro	1	Tipo: Tanque Cilíndrico (Con Deflectores en el Interior) Capacidad: 17.3 m ³ Material: FRP Dimensiones: 2800 ϕ × 3400H Accesorio: Agitador		Interruptor de Nivel
P8	Bomba de Alimentación de Lodos Neutralizados	1	Tipo: Bomba Centrífuga Potencia: 1200L/min×40mH Material: Superficie de Contacto en FC+R/L	22	
FP1	Filtro de Prensa	1	Tipo: Filtro Prensa Automática Potencia: Area de Filtración 203m ² Material: Marco y Placa de Polipropileno, etc.	5.5	
T14	Tanque de Solución Filtrada	1	Tipo: Cilíndrico Capacidad: 8 m ³ Material: Polietileno		Interruptor de Nivel
P10	Bomba de Transporte Post Neutralización	1	Tipo: Bomba Centrífuga Giro: 100L/min×20mH Material: SUS316,SCS14	2.2	
T16	Tanque Acondicionador de pH	1	Tipo: Tanque Cilíndrico Capacidad: 2.6 m ³ Material: FRP Dimensiones: 1500 ϕ × 2000H Accesorio: Agitador		pH-metro Interruptor de Nivel
F2	Alimentador de Cal Apagada	1	Tipo: Alimentador Sinfin Potencia: 825kg/h Material: SS Accesorio: Aire Comprimido, Filtro de Saco	0.4 0.75	
T17	Tanque Preparador Pulpa de Cal Apagada	1	Tipo: Tanque Cilíndrico Capacidad: 0.8 m ³ Material: FRP Dimensiones: 900 ϕ × 1600H Accesorio: Agitador		
P12	Bomba de Cal Apagada	1	Tipo: Bomba Centrífuga Potencia: 50L/min×20mH Material: Superficie de Contacto en FC+R/L	1.5	
P13	Bomba de Alimentación	1	Tipo: Bomba Centrífuga Giro: 300L/min×40mH Material: Superficie de Contacto en FC+R/L	11	
T18	Tanque Almacenador de Agua para Tratamiento	1	Tipo: Tanque Cilíndrico Capacidad: 6 m ³ Material: Polietileno		
P14	Bomba de Transporte de Agua para Tratamiento	1	Tipo: Bomba Centrífuga Potencia: 75L/min×40mH Material: Superficie de Contacto en Acero InoxidableSUS316, SCS14	2.2	

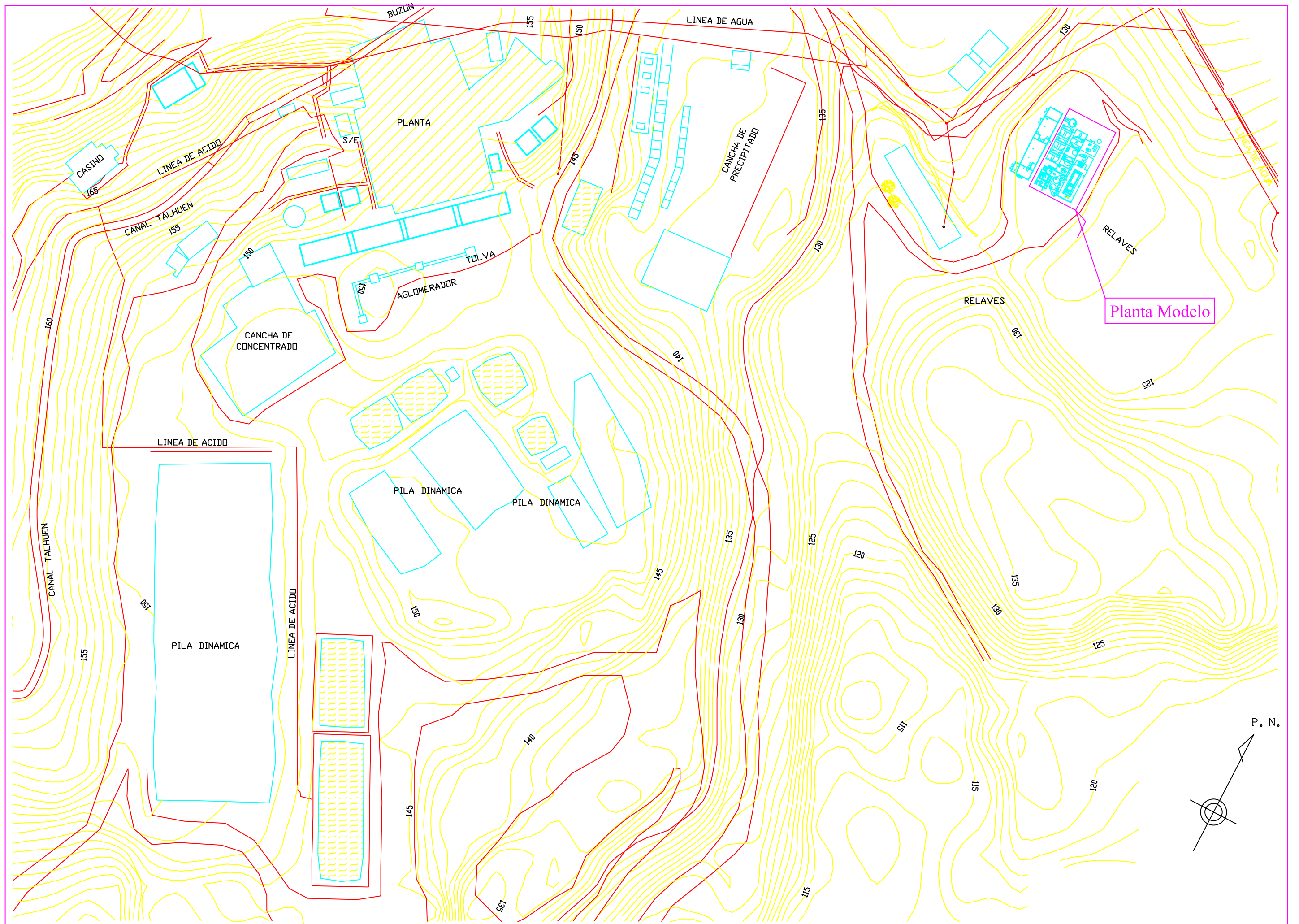


Figura 4-7 Ubicación de Planta Modelo

4.3 Resultados de Pruebas en Planta Modelo

Aunque se continúa con las operaciones de prueba en la planta modelo, se recopilaron y analizaron los resultados obtenidos en los primeros siete meses de operación. Los datos se compilan en los cuadros anexos al presente acápite.

4.3.1 Objetivos

Los principales objetivos del presente estudio consistieron en realizar el estudio de factibilidad considerando la inversión y operación de la planta de tratamiento de solución de descarte a escala, y recopilar información relacionada a la elaboración del plan maestro para la aplicación y difusión de esta tecnología bacteriana en Chile.

4.3.2 Condiciones de las Pruebas

Se realizaron modificaciones a las condiciones de las pruebas basadas en los conceptos que se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-22 Condiciones de las Pruebas

Condición	Concepto
Volumen de tratamiento (solución de descarte)	• Objetivo: 100m³/día. • Verificación de la capacidad de oxidación bacteriana y neutralización mediante incrementos graduales de los flujos de la solución de descarte en la alimentación, hasta alcanzar la calidad de agua establecida. • Estudio de verificación de la capacidad máxima de tratamiento.
Lodos portadores de bacteria	• ¼ del volumen de tratamiento. • 25m³/día para 100m³/día de tratamiento.
Adición de nutriente	• Reducción gradual de la adición, verificando la suficiencia de oxidación bacteriana, bajo el concepto de economía del proceso. • Rango: 0-10mg/L.
Adición de floculante polimérico	• Reducción gradual de la adición, verificando la suficiencia de oxidación bacteriana, bajo el concepto de economía del proceso. • Rango: 5-10mg/L.
pH de neutralización con carbonato de calcio	• Separación de hierro, dejando remanente el cobre en niveles permisibles. • Calidad de agua requerida para la operación de lixiviación (calidad de agua que permita el avance de la lixiviación). • Rango: pH3-4
pH de neutralización con cal apagada	• Eliminación de metales excepto hierro. • Rango: pH8-10

4.3.3 Resultados

(1) Calidad de Solución de Descarte

La calidad de la solución de descarte fluctúa intensamente. En el siguiente cuadro se muestra los resultados de la calidad de la solución de descarte, analizados por ambas partes.

Cuadro 4-23 Resultados de Análisis de la Solución de Descarte (Análisis Periódico)

Fecha	pH	Fe ²⁺ (g/L)	Fe-T (g/L)	Cu (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Mg (mg/L)	Nota
6/9	3.5	12.31	24.00	81	305	162	1996	-	-	-	3080	Chile
12/9	3.7	11.75	16.15	56	251	106	2240	0.83	0.80	-	2696	Chile
18/9	-	-	15.06	102	837	269	3246	2.71	1.30	30.0	3790	Japón
20/9	3.3	20.42	28.80	253	704	298	3174	2.90	0.96	-	3807	Chile
25/9	-	-	14.40	146	408	191	2861	1.45	1.00	16.0	3750	Japón
26/9	2.9	12.87	-	111	377	185	2557	1.69	N.D.	-	-	Chile
3/10	-	-	13.50	85	291	122	2160	0.78	1.00	9.0	2590	Japón
4/10	-	10.62	16.95	28	321	122	1580	1.40	0.22	9.7	-	Chile
	-	-	13.00	38	270	116	1588	0.78	0.88	7.0	2620	Japón
10/10	3.6	21.82	21.90	152	699	269	3310	1.66	0.90	27.3	-	Chile
16/10	3.0	19.58	35.30	81	517	175	4949	1.19	0.43	20.8	-	Chile
24/10	3.5	17.70	19.40	77	556	484	3580	1.73	0.79	-	-	Chile
Prom	-	-	-	101	466	208	2770	1.56	0.75	17.1	3190	—
Máx	-	-	-	253	837	484	4949	2.90	1.30	30.0	3807	—
Mín	-	-	-	28	251	106	1588	0.78	N.D.	7.0	2590	—

En la columna “Nota” se especifica la parte que realizó el análisis. La misión japonesa realizó los análisis en Japón con muestras llevadas consigo.

En la Figura 4-8 se muestra la fluctuación de Fe²⁺ y Fe-T en la solución de descarte. Se observa gran fluctuación, siendo la variabilidad en la concentración de Fe²⁺ entre 8 y 33g/L, con alta fluctuación diaria, no obstante sin mantener altas concentraciones por varios días. Asimismo, siendo el tiempo de residencia en el tanque de oxidación de 30h para un volumen de tratamiento de 100m³/día, se observa una estabilidad en la calidad de aguas al interior del tanque de oxidación. En consecuencia, es posible representar la calidad de aguas de la solución de descarte como se muestran en los Cuadros 4-23 y 4-24.

Cuadro 4-24 Calidad de Solución de Descarte (Resultados de análisis diario: 6/9/2001-31/3/2002)

Item	pH	Fe ²⁺ (g/L)	Fe-T (g/L)
Promedio	3.8	7.90	8.29
Máximo	2.6	32.93	40.60
Mínimo	3.3	17.02	20.66

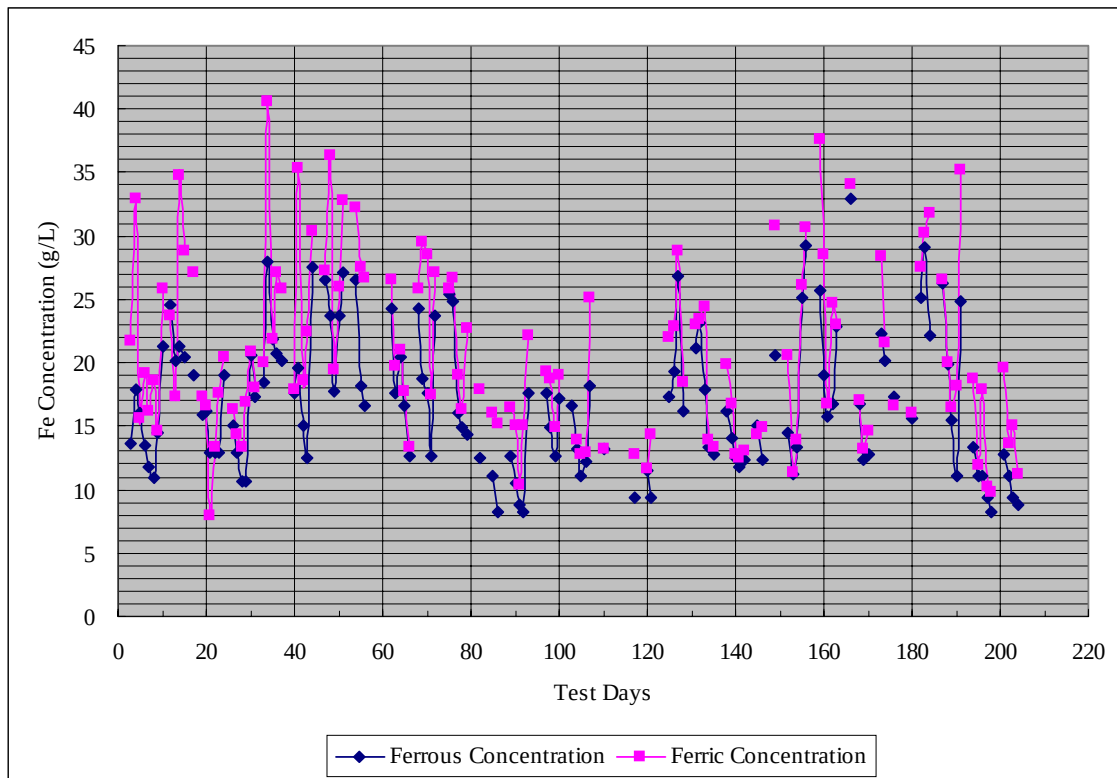


Figura 4-8 Fe^{2+} y Fe-T en la Solución de Descarte

(2) Oxidación Bacteriana

En la Figura 4-9 se muestra el avance de la concentración de Fe^{2+} en el circuito de oxidación. Esta concentración es notoria hasta la salida del tanque A, sin embargo, es casi inapreciable a la salida del tanque B. Es decir, fueron suficientes dos tanques para la oxidación. Con ello se infiere que con la utilización de los tres tanques de oxidación disponibles sería posible oxidar hasta $150\text{m}^3/\text{día}$.

Ya que a la salida del tanque B se alcanza prácticamente la oxidación, es posible además que la oxidación sea completa en un punto intermedio de éste. Esta situación es posible analizarla con los valores de la cinética de oxidación. En la Figura 4-10 se muestra los valores de la cinética de oxidación de Fe^{2+} en los tanques A, B y C. En ella se observa que la cinética es muy alta en el tanque A debido a la alta concentración de Fe^{2+} ; y baja en el tanque C ya que prácticamente es inexistente la alimentación de Fe^{2+} en él. Al comparar los valores entre los tanques A y B se observa que los de A son más altos; por tanto, se corrobora la probabilidad de que la oxidación se haya completado en un punto intermedio del tanque B. Asimismo, siendo la cinética de oxidación del tanque A un valor aproximado de 1g/L-h , se concluye que se ha alcanzado su valor objetivo. El parámetro de diseño de la concentración de Fe^{2+} fue de 30g/L ; sin embargo, como se mencionó arriba, el valor promedio durante las pruebas en planta modelo fue de aproximadamente 17g/L . En consecuencia, de mantenerse la calidad de la solución de descarte, la capacidad de tratamiento de la planta modelo sería de: $(30/17) \times 100\text{m}^3/\text{día} = 176\text{m}^3/\text{día}$.

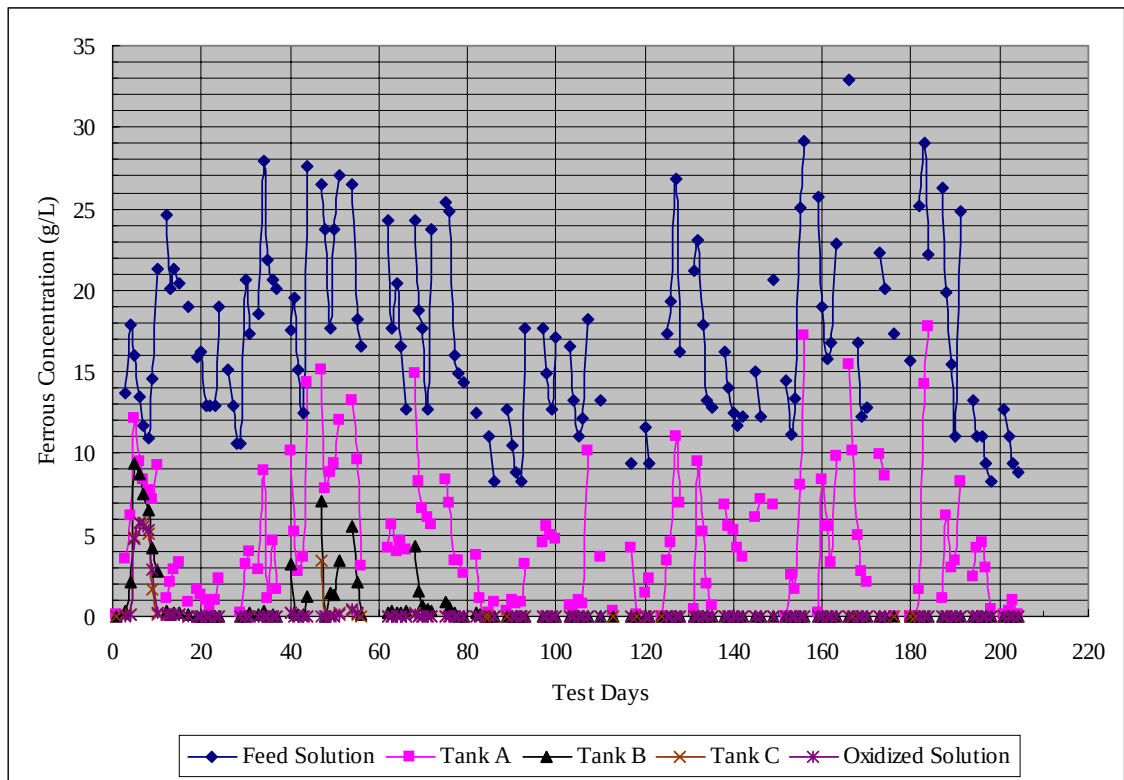


Figura 4-9 Concentración de Fe^{2+} en el Circuito de Oxidación

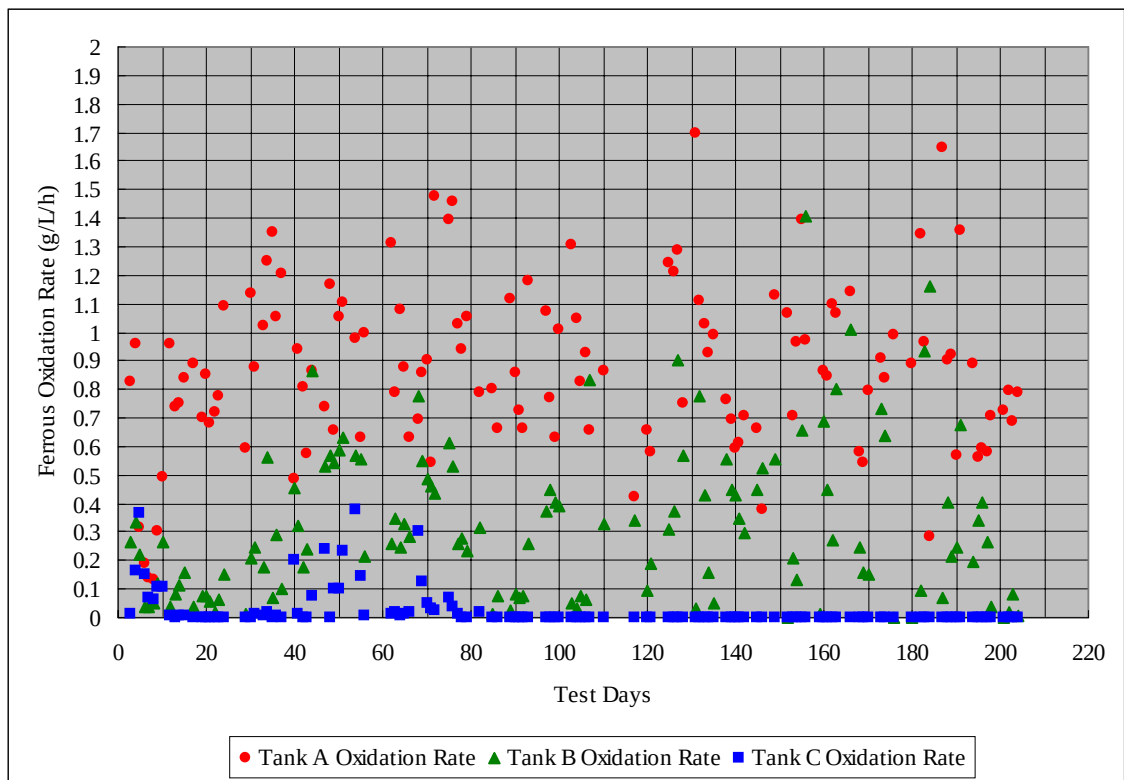


Figura 4-10 Cinética de Oxidación de Fe^{2+} por Tanque

(3) Consumo de Reactivos

A continuación se compila los resultados del consumo (requerimiento) de reactivos en las pruebas de planta modelo.

1) Nutriente

Se inició con un nivel de alimentación de 10mg/L, siendo posible reducir su consumo hasta 2.5mg/L.

2) Floculante polimérico

Se inició con un nivel de alimentación de 10mg/L, siendo posible reducir su consumo hasta 5mg/L. Asimismo, se pudo hallar un floculante polimérico de relativo bajo costo manteniendo los efectos de floculación.

3) Carbonato de calcio

En el Cuadro 4-25 se muestra los resultados del consumo de carbonato de calcio. Este resultó un valor promedio de 17g/L.

Cuadro 4-25 Consumo de Carbonato de Calcio en las Pruebas de Planta Modelo

Periodo	Volumen tratado	Consumo de carbonato de calcio	Concentración en la alimentación
2001.09	1600m ³	28t	17.5g/L
2001.10	2390m ³	47t	19.7g/L
2001.11	2740m ³	49t	17.9g/L
2001.12	2870m ³	42t	14.6g/L
2002.01	2820m ³	46t	16.3g/L
2002.02	2470m ³	39t	15.8g/L
2002.03	2810m ³		
Promedio	-	-	16.9g/L

4) Cal Apagada

En el Cuadro 4-26 se muestra los resultados del consumo de cal apagada. Este resultó un valor promedio de 12g/L.

Cuadro 4-26 Consumo de Cal Apagada en las Pruebas de Planta Modelo

Periodo	Volumen tratado	Consumo de cal apagada	Concentración en la alimentación
2001.09	120m ³	2500kg	20.8g/L
2001.10	196m ³	2000kg	10.2g/L
2001.11	162m ³	1500kg	9.3g/L
2001.12	100m ³	1000kg	10.0g/L
2002.01	116m ³	1500kg	12.9g/L
2002.02	94m ³	1000kg	10.6g/L
2002.03	98m ³		
Promedio	-	-	12.1g/L

5) Costo de Reactivos

Los cálculos se muestran en el siguiente Cuadro.

Cuadro 4-27 Estimación de Costos de Reactivos
(Para 100m³/día de tratamiento en Planta Modelo)

Reactivo	Concentración y Consumo	Costo	
CaCO ₃	17kg/m ³ × 100m ³ /día = 1700kg/día	US\$0.0589/kg	US\$100.13/día
Cal apagada	12kg/m ³ × 10m ³ /día = 120kg/día	US\$0.0935/kg	US\$11.22/día
Nutriente	2.5g/m ³ × 100m ³ /día = 250g/día	US\$4.61/kg	US\$1.15/día
Floculante	5g/m ³ × (100+25)m ³ /día = 625g/día	US\$4.248/kg	US\$2.66/día
Total (Solution alimentada: 100m ³ /día)			US\$115.16/día

(4) Generación de Sedimentos

A continuación se describe la relación entre el volumen de generación de sedimentos (m³/día, t_{húmeda}/día) en la planta modelo al tratar la solución de descarte, el grado de secado de torta y la generación de precipitados de neutralización con carbonato de calcio en función a la concentración de hierro en la solución oxidada.

De las Figuras 4-11 y 4-12 se obtienen que, para un volumen de tratamiento de la solución de descarte de 100m³/día, se generan en la planta modelo un total de 8.5m³/día ó 12.5t_{húmeda}/día de sedimentos.

Por otro lado, durante las pruebas en planta modelo la concentración promedio de Fe-T, en la solución oxidada que se alimenta al proceso de neutralización con carbonato de calcio, fue de 11.7g/L. De la Figura 4-14 se tiene que la generación de precipitados de neutralización con carbonato de calcio es de 6.05t_{seca}/día para Fe-T = 11.7g/L. Por ende, para un volumen de tratamiento de solución de descarte de 100m³/día, la generación de precipitados de neutralización con carbonato de calcio es de 6.05t_{seca}/día.

De la Figura 4-13 se tiene que la humedad contenida en la torta de filtración fue de 47.5%.

El volumen de los precipitados de neutralización con carbonato de calcio incluyendo la humedad es de $6.05 \div (1 - 0.475) = 11.5t_{húmeda}/día$.

Los sedimentos generados en la planta modelo están constituidos por los precipitados de neutralización con carbonato de calcio, los lodos portadores de bacteria en exceso y los precipitados de neutralización con cal apagada. Debido a que la generación total de sedimentos fue de 12.5t_{húmeda}/día para un volumen de tratamiento de solución de descarte de 100m³/día, y siendo la generación de precipitados de neutralización con carbonato de calcio correspondiente de 11.5t_{húmeda}/día, se estima por defecto que 1.0t_{húmeda}/día corresponde a la suma de los lodos portadores de bacteria en exceso y los precipitados de neutralización con cal apagada.

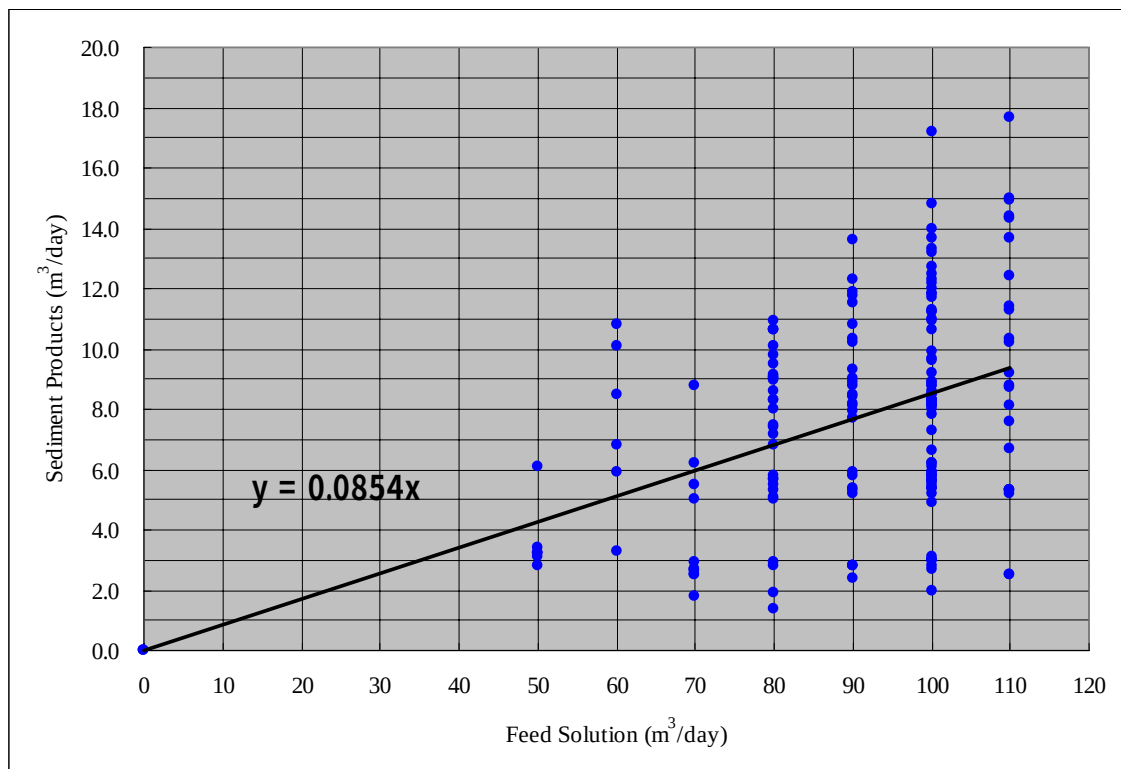


Figura 4-11 Correlación entre Volumen de Tratamiento y Generación de Sedimentos (m³/día)

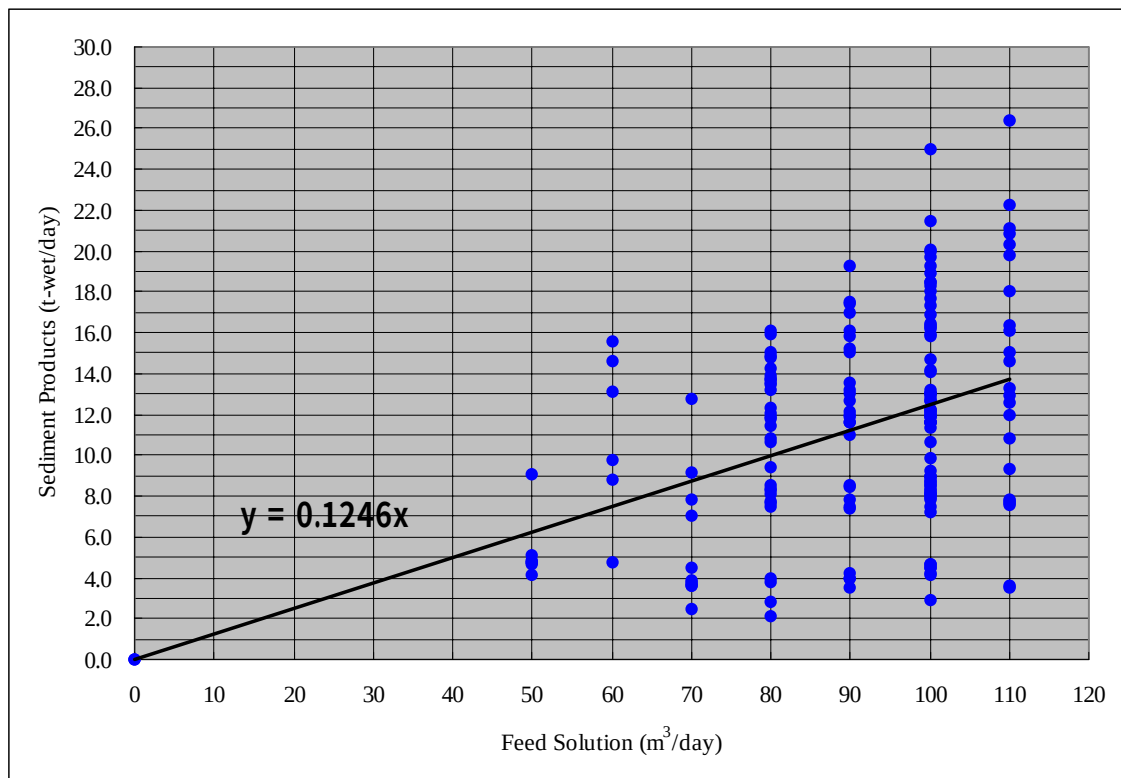


Figura 4-12 Correlación entre Volumen de Tratamiento y Generación de Sedimentos (t_{seca}/día)

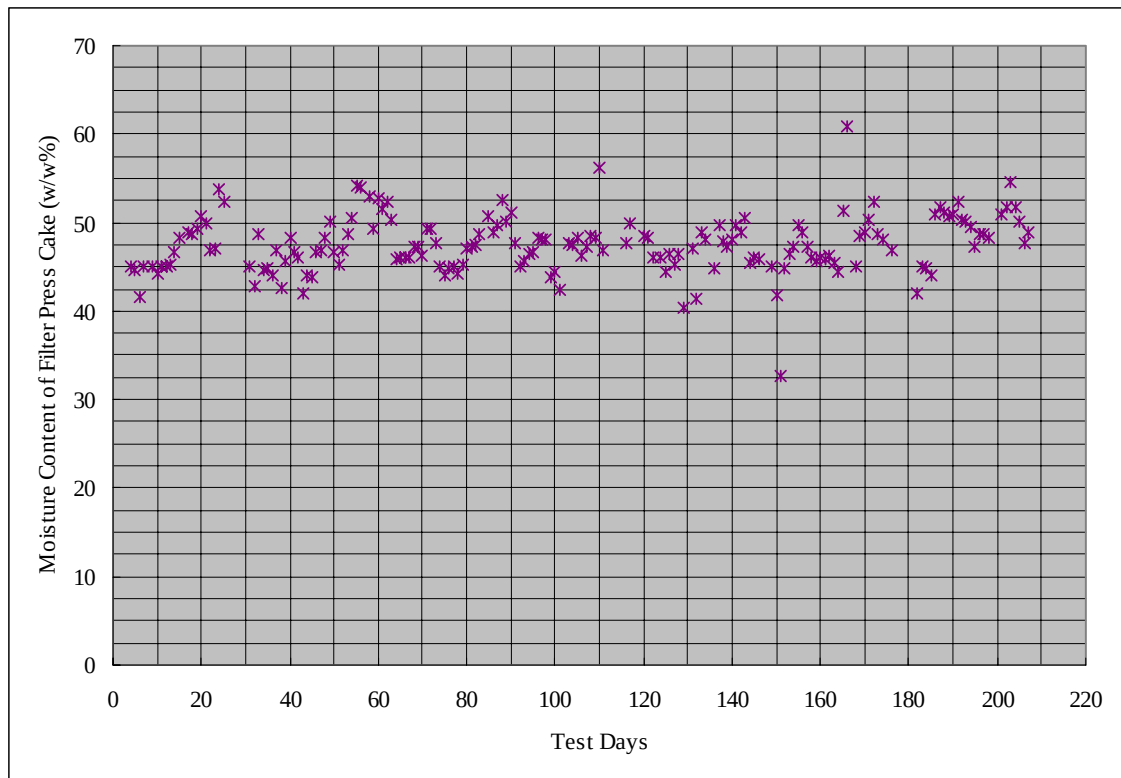


Figura 4-13 Evolución de Humedad de Torta

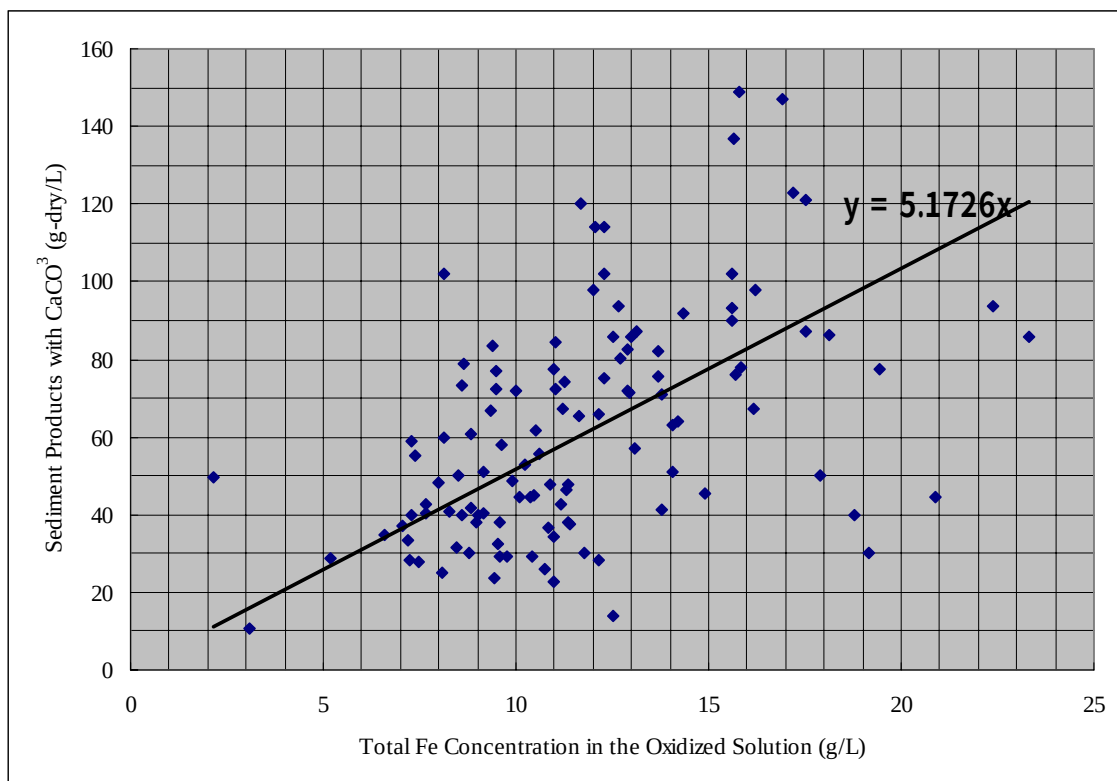


Figura 4-14 Correlación entre Concentraciones de Fe en Solución Oxidada y Generación de Sedimentos

(5) Calidad de los Sedimentos

Se analizaron las calidades de los lodos portadores de bacteria, precipitados de neutralización con carbonato de calcio / cal apagada y las tortas formadas con muestras llevadas al Japón. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-28 Calidad de los Sedimentos

Item	Lodos portadores de bacterias	Ppdo. neutralización carbonato calcio	Ppdo. neutralización cal apagada	Torta
Fe (%)	40.3	16.8	0.25	15.7
Cu (mg/kg)	62.7	271	1320	319
Mn (mg/kg)	143	560	10700	370
Zn (mg/kg)	42.5	146	2140	106
Al (mg/kg)	1060	13900	34100	10600
As (mg/kg)	386	50.5	16.8	43.7
Ca (%)	2.36	15.9	21.2	19.0
SO ₄ (%)	22.9	44.0	44.0	47.1

Los lodos portadores de bacterias son sedimentos compuestos principalmente de sulfatos de hierro alcalinos con 2% de calcio, 0.1% de aluminio, con bajos contenidos de metales pesados exceptuando al hierro; sin embargo, debido a que contiene 0.04% de arsénico, su reutilización es compleja.

Los precipitados de la neutralización con carbonato de calcio consisten de una mezcla de sedimentos de hierro con yeso.

Los precipitados de la neutralización con cal apagada consisten de una mezcla de sedimentos de óxidos de manganeso y aluminio, y conglomerados de óxidos de cobre, zinc y otros elementos con yeso.

La recuperación de hierro sería óptima en un punto entre las etapas de formación de los lodos portadores de bacteria y los precipitados de neutralización, con el objeto de evitar el contenido de arsénico y yeso; para ello, se requiere modificar las condiciones de neutralización.

(6) Resultados de Pruebas de Lixiviación con Solución Tratada en Planta Modelo

La contraparte chilena realizó pruebas de lixiviación de minerales utilizando solución tratada y oxidada de la planta modelo.

1) Pruebas de lixiviación de minerales utilizando solución tratada en planta modelo

Las pruebas de lixiviación se realizaron bajo las siguientes condiciones:

Los resultados se muestran en la Figura 4-15. No se observó interferencias en la extracción del cobre utilizando solución tratada en planta modelo en comparación con el uso de agua industrial proveniente de Talhuén como solvente. Contrariamente, en la lixiviación del mineral crudo, la recuperación del cobre fue mayor con respecto al caso con el agua industrial. Se infiere que este resultado se debe a la remanencia de cobre y ión ferroso en la solución tratada.

Cuadro 4-29 Condiciones de Pruebas de Lixiviación Utilizando Solución Tratada en Planta Modelo

Columna No.	Soluto	Solvente
1	Ripio de lixiviación primaria (materia prima para lixiviación secundaria)	Agua industrial con adición de 30g/L de ácido sulfúrico
2	Ripio de lixiviación primaria (materia prima para lixiviación secundaria)	Solución tratada en planta modelo con adición de 30g/L de ácido sulfúrico
3	Mineral crudo	Agua industrial con adición de 45g/L de ácido sulfúrico
4	Mineral crudo	Solución tratada en planta modelo con adición de 45g/L de ácido sulfúrico

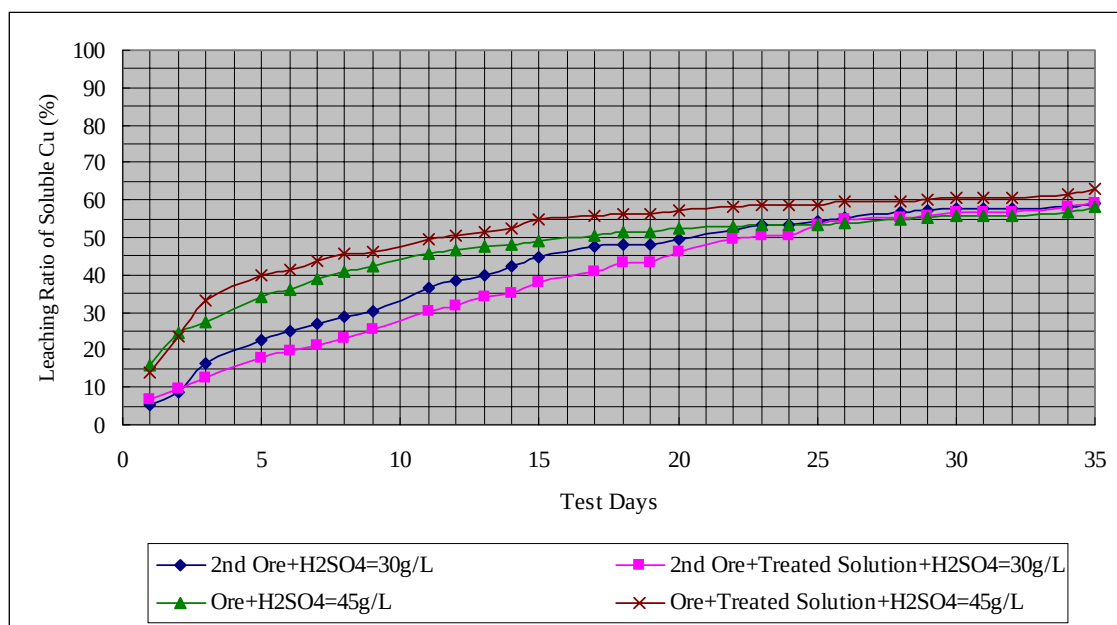


Figura 4-15 Resultado de Lixiviación Utilizando Solución Tratada de Planta Modelo

2) Pruebas de lixiviación de minerales utilizando solución oxidada en planta modelo

Las pruebas de lixiviación se realizaron bajo las siguientes condiciones:

Los resultados se muestran en la Figura 4-16. El ión ferroso es un oxidante de minerales, sin embargo, a altas concentraciones afectó negativamente a la recuperación del cobre. A concentraciones adecuadas de ión ferroso, los resultados de extracción cobre fueron mejores que sin él.

Cuadro 4-30 Condiciones de Pruebas de Lixiviación Utilizando Solución Oxidada en Planta Modelo

Columna No.	Soluto	Solvente
1	Ripio de lixiviación primaria (materia prima para lixiviación secundaria)	Agua industrial con adición de 10g/L de ácido sulfúrico
2	Ripio de lixiviación primaria (materia prima para lixiviación secundaria)	Solución oxidada en planta modelo al 1.8% en volumen con adición de 10g/L de ácido sulfúrico
3	Ripio de lixiviación primaria (materia prima para lixiviación secundaria)	Solución oxidada en planta modelo al 36% en volumen con adición de 10g/L de ácido sulfúrico
4	Ripio de lixiviación primaria (materia prima para lixiviación secundaria)	Solución oxidada en planta modelo al 60% en volumen con adición de 10g/L de ácido sulfúrico
5	Ripio de lixiviación primaria (materia prima para lixiviación secundaria)	Solución oxidada en planta modelo con adición de 10g/L de ácido sulfúrico

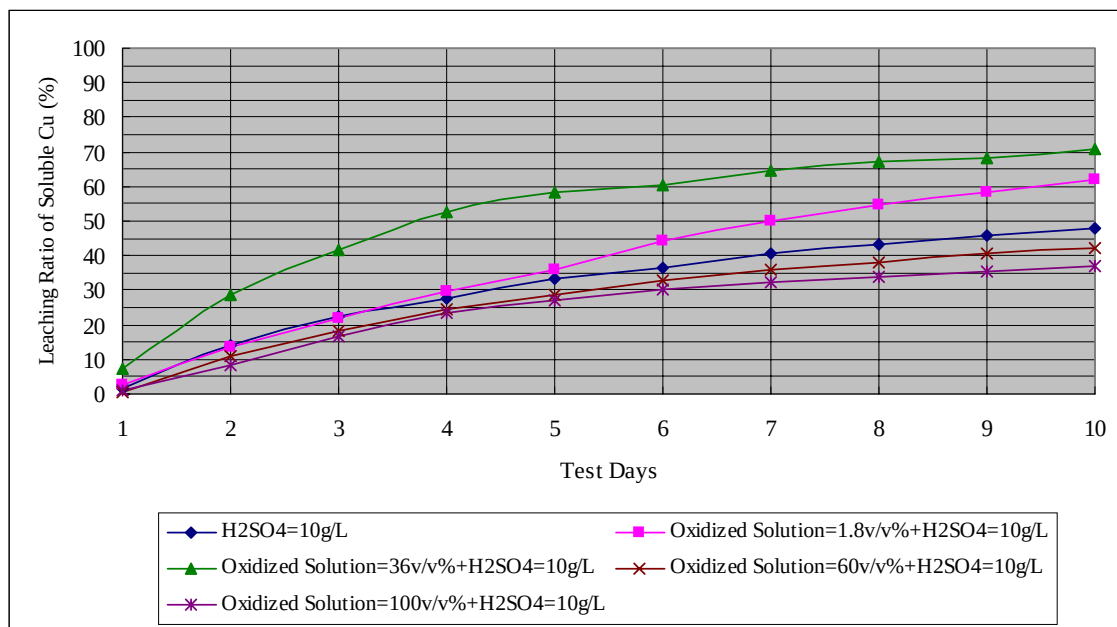


Figura 4-16 Resultado de Lixiviación Utilizando Solución Oxidada de Planta Modelo

4.3.4 Compilación de Resultados de Pruebas en Planta Modelo

(1) Condiciones de Operación en Planta Modelo

Se alcanzaron los objetivos establecidos bajo las condiciones que se describen en el siguiente cuadro.

Cuadro 4-31 Condiciones de Operación en Planta Modelo

Item	Condición / Resultado
Volumen de tratamiento (solución de descarte)	- Capacidad de tratamiento mayor de 100m³/día - Capacidad estimada: 176m³/día
Lodos portadores de bacteria	¼ del volumen de tratamiento
Adición de nutriente	Concentración con respecto a la solución de descarte: 2.5mg/L
Adición de floculante polimérico	Concentración con respecto a la solución de descarte: 5mg/L
pH de neutralización con carbonato de calcio	- pH de neutralización: 3.5-4 - Consumo promedio: 17g/L
pH de neutralización con cal apagada	- pH de neutralización: 8-9 - Consumo promedio: 12g/L

(2) Resultados de Operaciones en Planta Modelo

- 1) Los costos de reactivos se estimaron en 115US\$/día al tratar 100m³/día de solución de descarte.
- 2) De los resultados de pruebas realizadas por la contraparte chilena, el reciclaje de solución tratada en planta modelo al proceso de lixiviación no afecta negativamente a la extracción del cobre. Asimismo, se demostró que la utilización de solución oxidada en planta modelo mejora la extracción del cobre.
- 3) Se generaron 12.5t_{húmeda}/día (8.5m³/día) de torta de filtración al tratar 100m³/día de solución de descarte. La humedad de esta torta resultó ser de 47.5%.

(3) *Modus Operandi* de la Planta Modelo en Adelante

Se propone a continuación el *modus operandi* de la planta modelo bajo el concepto de uso eficiente y económico. Sin embargo, para ello se requiere de accesorios complementarios que se citan en el capítulo 5.

- 1) Establecimiento al máximo volumen de tratamiento (citado arriba) de acuerdo a la calidad de la solución a ser tratada (estimada).
- 2) El valor estimado de precipitados de neutralización con carbonato de calcio (torta de filtración) a generarse al tratar 176m³/día de solución de descarte es de 10.7tms/día. Si la humedad de torta fuese 47.5%, el valor estimado sería 20.4 t_{húmeda}/día. En consecuencia, se adhiere 9.7t/día de agua al sedimento que salen del sistema. Esta cantidad de agua representa más del 5% del volumen de solución de descarte tratada en la planta modelo. Esta cantidad servirá para mitigar parcialmente la acumulación de metales en el sistema y al metabolismo bacteriano. Por ende, se infiere que no es rigurosamente necesario neutralizar la 1/10 parte de la solución tratada con cal apagada para regular su pH. El proceso de regulación de pH será necesario solamente en los casos que excedan los valores de Zn, Mn y otros elementos

nocivos para la actividad bacteriana.

- 3) No es necesario neutralizar totalmente al Fe con carbonato de calcio, ya que se ha demostrado mediante las pruebas de lixiviación, que en cantidades adecuadas de sulfato ferroso mejora la extracción del cobre contenido en el mineral. Asimismo, es más económico no neutralizar en su totalidad. No obstante, si se requiriera clarificar la solución tratada ó prevenir atoros en las tuberías de reciclaje hacia el proceso de lixiviación, será necesario neutralizar totalmente al Fe regulando el pH a 4.0.

4.4 Situación Actual y Proyección Futura de la Planta Modelo

Durante el último estudio in situ se verificaron los siguientes aspectos:

(1) Situación Actual

Previamente la solución rica de lixiviación era distribuida a los procesos de precipitación y producción de sulfato de cobre, asimismo, la solución de descarte del proceso de precipitación distribuida a la planta modelo y las pozas de evaporación. Actualmente, se ha paralizado la producción de sulfato de cobre y se ha dejado de enviar la solución de descarte a las pozas de evaporación. En consecuencia, parte de la solución de descarte es tratada en la planta modelo y reciclada al circuito de lixiviación, y el resto reciclado también al circuito de lixiviación sin tratamiento. Razón por la cual, las concentraciones de Fe y metales pesados han aumentado considerablemente. En la Figura 4-17 se muestra los datos de calidad de aguas registrados recientemente.

A continuación se muestra los datos de operación de la planta modelo como volumen de tratamiento y volumen de reciclaje al circuito de lixiviación.

- Volumen de solución de descarte: 220m³/día
- Volumen de tratamiento en planta modelo: 50m³/día
- Volumen de reciclaje directo al circuito de lixiviación: 170m³/día
- Concentración de Fe²⁺ en la alimentación al tanque de oxidación: 57.3g/L
- Concentración de Fe²⁺ a la salida del tanque de oxidación: 0.9g/L

Como se muestra arriba, la concentración de Fe²⁺ está próxima al valor de saturación, no obstante, la oxidación bacteriana se encuentra vigente.

(2) Proyección Futura

Los costos de operación de la planta modelo incluyendo los costos de mano de obra oscilan entre US\$13,000 y US\$15,000; requiriéndose su reducción. Se está realizando pruebas en planta para modificar el reactivo de neutralización del actual carbonato de calcio a soda cáustica. Los objetivos de estas pruebas consisten en producir sulfato férrico comerciable como floculante inorgánico, a partir de hidróxido férrico, sin contenido de yeso, disolviéndolo en ácido sulfúrico.

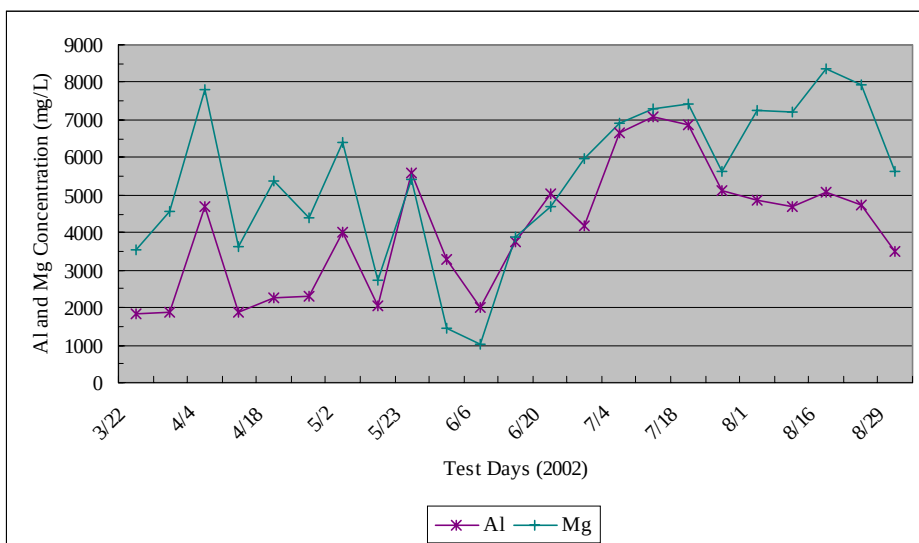
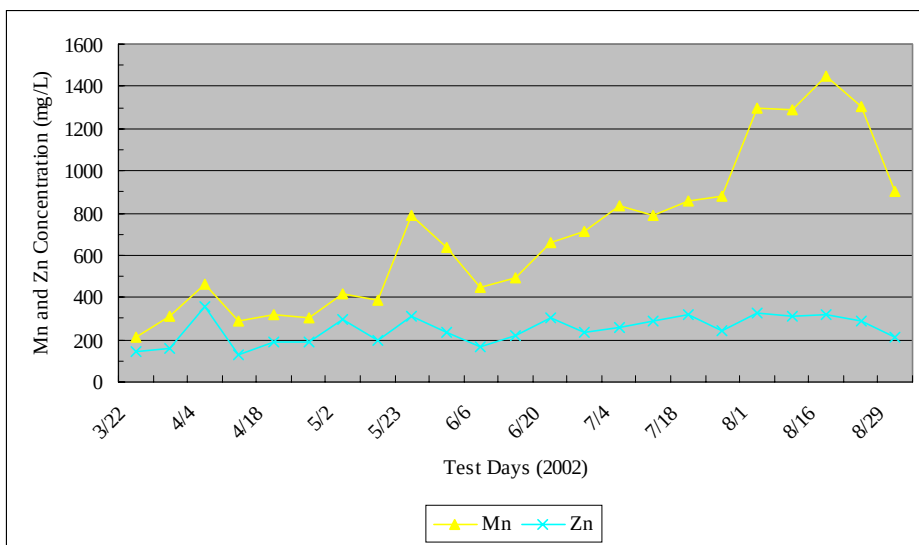
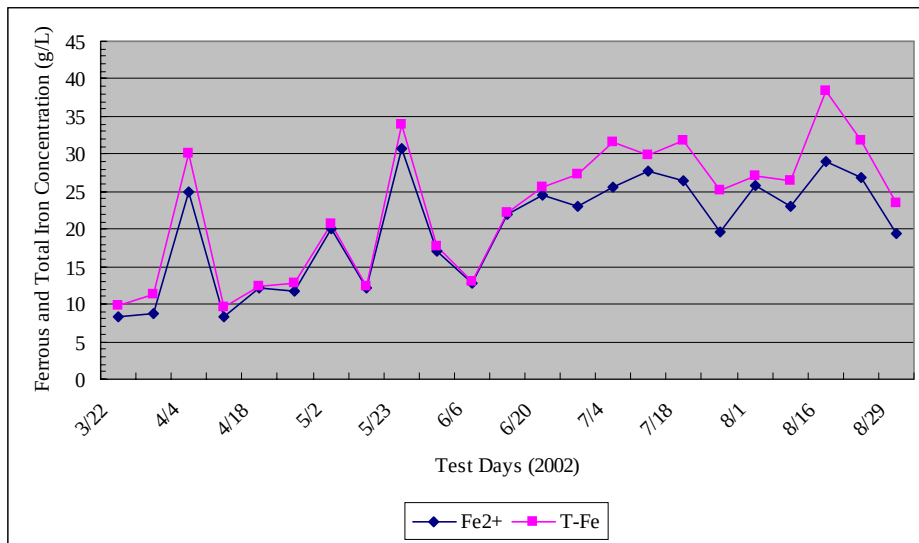


Figura 4-17 Calidad de Agua en la Solución de Descarte

4.5 Items de Transferencia de Tecnología

Se realizaron actividades de transferencia de tecnología en los siguientes temas relacionados con oxidación bacteriana.

- (1) Metodología de cultivo de bacterias ferro-oxidantes
 - 1) Cultivo en líquido
 - 2) Cultivo en petri
 - 3) Cultivo (almacenamiento) iterativos (subcultura)
- (2) Metodología de cuantificación de bacterias ferro-oxidantes
 - 1) Cuantificación directa
 - 2) Cuantificación de incubación
- (3) Pruebas de oxidación continua utilizando bacterias ferro-oxidantes
 - 1) Cultivo en masa de muestras bacterianas
 - 2) Elaboración de portadores
 - 3) Metodología, establecimiento de condiciones de pruebas, toma e interpretación de datos
- (4) Pruebas de neutralización
 - 1) Elaboración de curvas de neutralización
 - 2) Requerimiento de neutralizante y generación de sedimentos
 - 3) Pruebas de sedimentación
 - 4) Pruebas de secado
- (5) Pruebas en planta mediante planta modelo de tratamiento de solución de descarte
 - 1) Establecimiento de condiciones
 - 2) Metodología de análisis
 - 3) Toma e interpretación de datos

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	H ₂ SO ₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada					Oxidac. %	Cinét. Ox. g/L-h	Sedimento kg/día
							Flujo m3/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe ²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	SS mg/L			
9/1																								
9/2																								
9/3																								
9/4																								
9/5																								
9/6	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	19.12		5.0														
9/7	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0			11.0														
9/8	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	20.72	9.0	11.0	3.57	13.65	21.70	39	310	3830	2.41	21	3.10	146	26	99.8	0.46	
9/9	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	79.20	56.0	11.0	3.46	17.90	33.00				2.46	67	5.20		20.85	99.6	0.60	
9/10	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	111.00	66.0	5.0	3.57	15.99	15.60	153	326	665	2.56	4800	8.00	126	737	70.0	0.38	
9/11	60	43.7	8.3	0.33	0		25.0	40.72	14.4	5.0	3.59	13.43	19.20	132	292	1689	2.58	5706	16.20	107	61.55	57.5	0.18	
9/12	50	49.5	10.0	0.33	9K		25.0	54.17	20.0	6.0	3.67	11.75	16.15	56	251	2696	2.66	5538	10.75	124	1974	52.9	0.13	
9/13	50	49.5	10.0	0.33	9K		25.0	59.08	21.6	5.0	3.62	10.91	18.60	113	245	2197	2.49	5258	10.75	110	5997	51.8	0.11	
9/14	50	59.4	10.0	0.33	9K		12.5	58.96	77.2	5.0	3.54	14.54	14.58	155	360	2486	2.39	2853	9.46	16.5		80.4	0.20	
9/15	50	59.4	10.0	0.33	0		12.5		82.4	5.0	3.71	21.26	25.78				2.32	168	7.25			99.2	0.35	
9/16																								
9/17	50	59.4	10.0	0.33	0		12.5	190.00	75.2	5.0	3.78	24.61	23.70				2.40	112	8.95		44.92	99.5	0.41	
9/18	50	59.4	10.0	0.33	0		12.5	150.12	68.0	5.0	3.68	20.14	17.30	100	684	6833	2.28	84	11.34		50.78	99.6	0.34	
9/19	50	59.4	10.0	0.33	0		12.5	119.68	57.6	5.0	3.37	21.26	34.80	113	775		2.31	84	19.14	122	85.3	99.6	0.36	
9/20	60	49.5	5.0	0.33	0		15.0	110.24	60.8	5.0	3.29	20.42	28.80	253	704	3807	2.45	84	19.46	135	95.5	99.6	0.41	
9/21	0																							
9/22	60	51.2	5.0	0.33	0		12.5	58.40	58.0	5.0	2.57	19.02	27.10	138	434	4310	2.40	28	20.90	137		99.9	0.37	
9/23	60	51.2	5.0	0.33	0		12.5	94.76	60.0	5.0	3.00						2.20				30665			
9/24	60	51.2	5.0	0.33	0		12.5	126.20	64.0	5.0	3.14	15.94	17.30	65	406	6026	2.32	28	14.20	120	2778	99.8	0.31	
9/25	70	45.0	5.0	0.33	0		12.5	112.00	70.0	5.0	3.02	16.22	16.60	78	410	3610	2.25	N.D.	13.10	105	16348	100.0	0.36	
9/26	70	42.5	5.0	0.33	0		17.5	112.00	72.4	5.0	2.88	12.87	7.90	111	377		2.21	28	8.50	97	1898	99.8	0.30	
9/27	70	42.5	5.0	0.33	0		17.5		68.8	5.0	3.01	12.87	13.30	35	396		2.19	28	10.45	119	195	99.8	0.30	
9/28	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	139.64	73.0	5.0	2.70	12.87	17.60				2.31	28	11.30			99.8	0.35	
9/29	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	154.12	79.6	5.0	3.49	19.02	20.47				2.32	28	11.35			99.9	0.51	
9/30	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0		72.4	5.0	3.33						2.42							

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m³/día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m³/m²·min	H₂SO₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada					Oxidac. %	Cinet. Ox. g/L-h	Sedimento kg/día
							Flujo m3/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	SS mg/L			
10/1	0										2.87	15.10	16.36											
10/2	0										2.88	12.87	14.30											
10/3	70	42.5	5.0	0.33	0		17.5			5.0	2.92	10.63	13.30										0.25	
10/4	70	42.5	5.0	0.33	0		17.5	117.00	42.0	5.0					28	321		2.19	28	14.92	145	224	99.7	0.25
10/5	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	192.00	68.0	5.0	3.19	20.60	20.90		43	480		2.23	28	12.15	142		99.9	0.55
10/6	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	87.80		5.0	3.45	17.34	18.02		65	488	5066	2.31	28	9.40	108		99.8	0.47
10/7	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0														
10/8	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	87.00	26.0	5.0	3.37	18.50	20.00		34	432	4050	2.29	28	9.60	85		99.8	0.50
10/9	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	92.40	78.0	5.0	3.53	27.97	40.60		126	774		2.25	50	12.30	88		99.8	0.75
10/10	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0	3.61	21.82	21.90		152	699		2.25	28	12.50	68		99.9	0.59
10/11	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	90.00	97.0	5.0	3.56	20.70	27.10					2.22	28	13.70			99.9	0.56
10/12	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0	3.63	20.10	25.80		175	564		2.16	28	13.80	130		99.9	0.54
10/13	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0														
10/14	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0														
10/15	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	66.50	98.0	5.0	2.97	17.60	17.90		208	465		2.20	170	17.90	89		99.0	0.47
10/16	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	72.00	96.0	5.0	3.02	19.58	35.30		81	517		2.26	28	15.70	115		99.9	0.53
10/17	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	98.20	76.0	5.0	3.04	15.10	18.60		107	423		2.29	28	15.60	149		99.8	0.41
10/18	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	88.10	56.0	5.0	3.55	12.50	22.40		66	416		2.31	28	9.40	104		99.8	0.34
10/19	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	72.50	88.0	5.0	3.57	27.60	30.40		100	769		2.25	28	9.50	92		99.9	0.74
10/20	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0														
10/21	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0														
10/22	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	119.00	40.0	5.0	3.38	26.50	27.30		95	763		2.21	28	17.50	117		99.9	0.71
10/23	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	100.00	99.2	5.0	3.60	23.71	36.40		112	740		2.15	28	17.20	105		99.9	0.72
10/24	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	68.00	94.4	5.0	3.54	17.70	19.40		77	556		2.27	28	17.50	117		99.8	0.54
10/25	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	76.00	98.4	5.0	3.19	23.74	25.95		70	532		2.23	28	15.60	116		99.9	0.72
10/26	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	58.30	67.2	5.0	3.00	27.05	32.80		56	415		2.29	160	15.60	94		99.4	0.81
10/27	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5			5.0														
10/28	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5			5.0														
10/29	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	68.20	98.8	5.0	3.45	26.50	32.20		183	820		2.13	440	18.12	128		98.3	0.79
10/30	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	59.00		5.0	3.13	18.22	27.60		238	592		2.10	170	8.15	73		99.1	0.55
10/31	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5			5.0	3.19	16.57	26.70											

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	H ₂ SO ₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada				Oxidac. %	Cinét. Ox. g/L-h	Sedimento kg/día
							Flujo m3/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe ²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L			
11/1																							
11/2	70	42.5	5.0	0.33	9K		17.5			5.0													
11/3	70	42.5	5.0	0.33	9K		17.5			5.0													
11/4	70	42.5	5.0	0.33	0		17.5			5.0													
11/5	70	42.5	5.0	0.33	0		17.5			5.0													
11/6	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	48.00		5.0	3.28	24.30	26.50	127	542	2.18	28	13.13	169		99.9	0.65	
11/7	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0			5.0	3.36	17.67	19.80	114		2.20	28	12.01	126	24162	99.8	0.47	
11/8	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	53.00		5.0	3.47	20.43	21.01	96		2.28	28	13.70	149	21770	99.9	0.55	
11/9	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	80.70	73.0	5.0	3.26	16.57	17.73			2.08	28	12.91		12558	99.8	0.50	
11/10	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	81.00	75.2	5.0	3.30	12.70	13.30			2.23	28	11.64		10802	99.8	0.38	
11/11	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5			5.0													
11/12	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	74.20	62.0	5.0	3.50	24.30	25.80			2.24	110	12.16		5974	99.5	0.73	
11/13	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	100.00		5.0	3.51	18.77	29.50			2.18	28	23.33		5269	99.9	0.63	
11/14	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	59.80		5.0	3.27	17.67	28.57			2.28	28	22.36		50742	99.8	0.59	
11/15	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	33.70	95.0	5.0	3.19	12.70	17.47			2.23	28	18.80		27754	99.8	0.43	
11/16	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	41.40	99.2	5.0	3.53	23.74	27.10			2.26	28	11.20		33751	99.9	0.80	
11/17	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0		56.8	5.0													
11/18	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0		52.8	5.0													
11/19	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	45.40	52.0	5.0	3.25	25.40	25.80			2.27	28	13.80		15737	99.9	0.85	
11/20	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	70.30	74.4	5.0	2.73	24.85	26.72			2.30	28	15.82		8554	99.9	0.84	
11/21	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	43.00		5.0	2.65	16.02	18.99			2.33	28	12.66		22772	99.8	0.54	
11/22	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	47.00	7.2	5.0	3.11	14.90	16.26			2.26	28	13.00		20532	99.8	0.50	
11/23	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	43.00	11.2	5.0	2.90	14.36	22.70			2.26	28	12.88		16600	99.8	0.53	
11/24	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5			5.0													
11/25	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	50.60	36.0	5.0													
11/26	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	75.30	58.0	5.0	3.29	12.50	17.90			1.82	28	9.36		1822	99.8	0.46	
11/27	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	43.70	64.0	5.0							50						
11/28	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	34.50	31.2	5.0													
11/29	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	21.30	20.8	5.0	3.29	11.04	16.03										
11/30	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	116.70	66.4	5.0	3.01	8.28	15.17			2.10	N.D.	8.82		17	100.0	0.31	

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m³/día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m³/m²·min	H₂SO₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada					Oxidac. %	Cinét. Ox. g/L-h	Sedimento kg/día
							Flujo m3/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	SS mg/L			
12/1	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5			5.0														
12/2	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5			5.0														
12/3	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	31.40	12.8	5.0	3.40	12.70	16.48											
12/4	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	63.80	61.6	5.0	3.59	10.49	15.05											
12/5	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	101.00	64.0	5.0	3.17	8.83	10.30				2.28	N.D.	9.15		807	100.0	0.39	
12/6	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	133.60	67.2	5.0	3.14	8.28	15.07				2.21	N.D.	8.61		1855	100.0	0.33	
12/7	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	105.00	26.0	5.0	3.49	17.67	22.16				2.21	N.D.	7.66		1206	100.0	0.31	
12/8	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0		64.0	5.0							2.14	N.D.	7.05		826	100.0	0.59	
12/9	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0		56.0	5.0														
12/10	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	92.00	48.0	5.0														
12/11	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	162.00	61.2	5.0	3.30	17.67	19.26				2.14	28	9.55		436	99.8	0.59	
12/12	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	169.80	75.6	5.0	3.02	14.90	18.72				2.25	28	10.89		589	99.8	0.50	
12/13	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	124.20	24.0	5.0	3.07	12.70	14.90				2.19	28	10.96		33300	99.8	0.43	
12/14	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	83.90		5.0	3.49	17.12	19.09				2.21	28	10.00		7800	99.8	0.58	
12/15	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0		36.0	5.0														
12/16	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0			5.0														
12/17	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	43.00	36.0	5.0	3.60	16.57					2.09	N.D.				100.0	0.56	
12/18	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	96.80	61.6	5.0	3.65	13.25	13.96				2.11	28	11.05		1186	99.8	0.44	
12/19	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	97.30	61.6	5.0	3.62	11.04	12.78				2.05	28	9.50		18472	99.7	0.37	
12/20	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	99.80	59.2	5.0	3.61	12.15	12.97				2.02	28	7.38		715	99.8	0.41	
12/21	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	132.70	61.6	5.0	3.68	18.22	25.12				2.23	28	7.28		18219	99.8	0.61	
12/22	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0			5.0														
12/23	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5			5.0														
12/24	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	167.00	84.0	5.0	3.47	13.25	13.26				2.00	28	9.01			99.8	0.49	
12/25	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	71.10	73.0	5.0														
12/26			5.0	0.33	0		0.0			5.0														
12/27			5.0	0.33	0		0.0	71.10	54.0	5.0														
12/28			5.0	0.33	0		0.0	34.20	17.0	5.0														
12/29	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	48.90	24.0	5.0														
12/30	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0			5.0														
12/31	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	85.60		5.0	3.45	9.40	12.77				2.34	28	9.08		176	99.7	0.32	

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	H ₂ SO ₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada				Oxidac. %	Cinét. Ox. g/L-h	Sedimento kg/día			
							Flujo m3/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe ²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L				SS mg/L		
1/1	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	33.30	12.8	5.0																
1/2																										
1/3	80	37.2	5.0	0.33	0		20.0	235.00	70.0	5.0	3.77	11.55	11.60													
1/4	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	253.00	76.8	5.0	3.72	9.39	14.29							2.10	N.D.	7.20	305	100.0	0.31	
1/5	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5			5.0										2.05	28	7.68	181	99.7	0.31	
1/6	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0			5.0																
1/7	90	33.0	5.0	0.33	0		22.5	76.80	28.8	5.0																
1/8	110	27.0	5.0	0.33	0		27.5	166.20	52.0	5.0	3.84	17.30	22.06							2.19	28	10.10	809	99.8	0.64	
1/9	100	29.7	5.0	0.33	0		25.0	253.60	76.8	5.0	3.60	19.33	22.82							2.06	28	9.90	605	99.9	0.65	
1/10	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	198.70	50.4	5.0	3.34	26.79	28.85							2.00	28	11.15	957	99.9	0.90	
1/11	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	292.10	56.8	5.0	3.35	16.19	18.42							2.08	28	12.96	4380	99.8	0.54	
1/12	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0																
1/13	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0																
1/14	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	123.20	31.6	5.0	3.39	21.21	22.94							1.98	N.D.	10.51	1313	100.0	0.71	
1/15	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	238.50	48.0	5.0	3.49	23.10	23.44							1.91	28	10.38	981	99.9	0.78	
1/16	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	313.10	60.0	5.0	3.51	17.86	24.43							1.98	28	11.42	395	99.8	0.60	
1/17	100	37.2	2.5					289.00	66.0	5.0	3.46	13.30	13.96							1.92	28	10.83	503	99.8	0.36	
1/18	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	88.90	25.2	5.0	3.49	12.82	13.39							1.95	28	10.42	781	99.8	0.43	
1/19	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0																
1/20	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0																
1/21	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	77.90	64.0	5.0	3.26	16.19	19.82							1.90	N.D.	9.77	836	100.0	0.54	
1/22	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	164.00	51.0	5.0	3.30	14.00	16.75							1.92	28	10.99	1004	99.8	0.47	
1/23	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	283.00	57.0	5.0	3.23	12.52	12.84							1.90	28	9.56	673	99.8	0.42	
1/24	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	295.00	58.0	5.0	3.04	11.72	12.52							1.87	28	8.79	496	99.8	0.39	
1/25	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	281.00	56.0	5.0	2.90	12.28	13.06							1.88	28	8.25	884	99.8	0.41	
1/26	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0																
1/27	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0																
1/28	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	230.00	20.0	5.0	3.26	15.07	14.38							1.95	28	10.99			99.8	0.46
1/29	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	190.00	52.0	5.0	3.30	12.28	14.90							1.89	28	8.64			99.8	0.37
1/30																										
1/31	50	59.4	2.5	0.33	0		12.5	76.60	18.4	5.0																

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m³/día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m³·m²·min	H₂SO₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada					Oxidac. %	Cinét. Ox. g/L·h	Sedimento kg/día
							Flujo m³/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	SS mg/L			
2/1	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	220.00	50.4	5.0	3.24	20.65	30.82				1.77	N.D.	9.18		100.0	0.69		
2/2	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0														
2/3	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0														
2/4	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	132.60	37.6	5.0	3.11	14.51	20.58				1.68	28	10.24		99.8	0.44		
2/5	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	244.20	66.0	5.0	3.24	11.16	11.37				1.76	28	10.62		301	99.7	0.37	
2/6	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	210.80	62.4	5.0	3.34	13.40	13.89				1.73	N.D.	8.46		280	100.0	0.45	
2/7	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	272.00	77.0	5.0	3.34	25.11	26.11				1.73	28	8.08		83	99.9	0.84	
2/8	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	221.00	61.6	5.0	3.33	29.18	30.70				1.88	28	11.05		58	99.9	0.98	
2/9	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0														
2/10	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0														
2/11	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	168.80	51.2	5.0	2.88	25.68	37.58				1.62	28	14.08		1540	99.9	0.86	
2/12	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	303.00	72.0	5.0	2.83	18.98	28.60				1.68	28	16.19		339	99.9	0.64	
2/13	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	283.00	78.0	5.0	2.99	15.82	16.75				2.17	28	12.30		59875	99.8	0.53	
2/14	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	240.00	44.0	5.0	3.07	16.75	24.63				2.07	28	12.71		8297	99.8	0.56	
2/15	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0	3.16	22.89	23.00				2.07	28	10.80		7231	99.9	0.77	
2/16	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0														
2/17	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0			5.0														
2/18	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0	226.00	9.6	5.0	3.42	32.93	34.05				2.14	28	14.05			99.9	0.89	
2/19	50	59.4	2.5	0.33	0		12.5			5.0														
2/20	60	49.5	2.5	0.33	0		15.0			5.0	3.30	16.75	17.08				2.06	28	12.30			99.8	0.34	
2/21	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5	107.00		5.0	3.38	12.28	13.22				2.03	28	12.06			99.8	0.29	
2/22	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	114.00	94.0	5.0	3.45	12.84	14.63				2.08	28	11.69			99.8	0.39	
2/23	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5			5.0														
2/24	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5			5.0														
2/25	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	70.20	52.0	5.0	3.23	22.33	28.37				2.05	28	8.82			99.9	0.68	
2/26	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	48.40	56.0	5.0	3.22	20.09	21.59				2.25	28	8.11			99.9	0.61	
2/27	0																							
2/28	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5	32.30	82.0	5.0	3.16	17.30	16.66											

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m³/día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m³/m²·min	H₂SO₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada					Oxidac. %	Cinét. Ox. g/L-h	Sedimento kg/día
							Flujo m3/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	SS mg/L			
3/1	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5			5.0														
3/2	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5			5.0														
3/3	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5			5.0														
3/4	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5	38.30	48.0	5.0	3.40	15.63	16.08											
3/5	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5	63.00	48.0	5.0														
3/6	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5	63.20	58.4	5.0	3.53	25.12	27.58					1.91	28	2.14			99.9	0.59
3/7	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0	3.39	29.03	30.28					2.05	28	8.65			99.9	0.78
3/8	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0	3.49	22.14	31.74					2.10	1	13.05			100.0	0.60
3/9	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0														
3/10	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0														
3/11	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0	3.29	26.27	26.55					1.91	1	15.66		2519	100.0	0.71
3/12	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0	3.10	19.92	20.01					1.75	28	15.80		22285	99.9	0.54
3/13	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	78.00		5.0	3.24	15.49	16.51					1.86	28	16.93		1813	99.8	0.47
3/14	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	76.20		5.0	3.15	11.06	18.14					2.00	28	14.35		86290	99.7	0.33
3/15	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	68.00		5.0	3.48	24.89	35.18					2.01	28	11.38		10200	99.9	0.84
3/16	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0		74.0	5.0														
3/17	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0		66.0	5.0														
3/18	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	31.00	59.0	5.0	3.24	13.28	18.67					1.80	28	12.51		362	99.8	0.45
3/19	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	54.00	76.0	5.0	3.18	11.06	11.98					1.99	28	11.24			99.7	0.37
3/20	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5	62.00	76.0	5.0	3.22	11.06	17.93					2.00	28	9.61		13881	99.7	0.41
3/21	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5	60.00	80.0	5.0	3.22	9.40	10.20					1.98	28	8.58		362	99.7	0.35
3/22	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5	63.00	84.0	5.0	3.21	8.30	9.80					1.76	N.D.	7.49		178	100.0	0.31
3/23	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5			5.0														
3/24	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5			5.0														
3/25	70	42.5	2.5	0.33	0		17.5	37.00	11.0	5.0	3.69	12.72	19.66					2.42	28	6.60		258	99.8	0.30
3/26	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	51.00	34.0	5.0	3.52	11.06	13.56					1.88	N.D.	11.76		266	100.0	0.33
3/27	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	96.00	54.0	5.0	3.43	9.40	15.07					1.88	28	7.29		676	99.7	0.32
3/28	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5		24.0	5.0	3.44	8.85	11.23					1.95	N.D.	8.13			100.0	0.33
3/29	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5			5.0														
3/30	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5			5.0														
3/31	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5			5.0														

Cuadro Anexo 4-1 Calidad de Aguas de la Solución de Descarte y Solución Oxidada

Fecha	Tratam. m³/día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m³/m²·min	H₂SO₄ g/L	pH Ox.	Lodo reciclado			Flocul. mg/L	Calidad Solución Descarte						Calidad Solución Oxidada					Oxidac. %	Cinét. Ox. g/L-h	Sedimento kg/día				
							Flujo m3/día	Conc. g/L	Volumen v/v%		pH	Fe²⁺ g/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Cu mg/L	SS mg/L							
4/1	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	55.90		5.0	3.49	8.30	15.28								1.94	28	4.31		873		0.28	
4/2	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	112.80	51.2	5.0	3.44	9.96	17.29								2.09	28	4.82		784		0.33	
4/3	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0	5.20	55.2	5.0	3.41	22.68	32.04								2.02	28	4.98		615		0.76	
4/4	100	29.7	2.5	0.33	0		25.0		55.2	5.0	3.47	24.89	30.05								2.09	111	7.89				0.83	
4/5	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0																		
4/6	80	37.2	2.5	0.33	0		20.0			5.0																		
4/7	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5			5.0																		
4/8	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	63.50	28.0	5.0	2.93	12.17	12.50								1.70	55	12.45		2008		0.37	
4/9	90	33.0	2.5	0.33	0		22.5	175.40	58.4	5.0	2.91	10.51	10.97								1.96	55	11.02		811		0.32	
4/10	110	27.0	2.5	0.33	0		27.5	198.50		5.0	2.89	9.96	10.25								2.01	55	9.65		1538		0.37	
4/11	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	146.10	68.0	5.0	3.07	8.30	9.64								1.97	55	8.93		41981		0.33	
4/12	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	138.20	56.0	5.0	3.15	14.38	14.42								1.85	55	7.52		2014		0.58	
4/13	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0			5.0																		
4/14	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0			5.0																		
4/15	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	36.60	15.0	5.0	2.98	16.04	16.17								1.76	55	9.90		2345		0.65	
4/16	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	74.80	44.8	5.0	3.25	12.72	12.96								2.29	55	9.85		38555		0.51	
4/17	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	80.50	44.0	5.0	3.01	12.72	12.89								1.88	111	10.00		34793		0.51	
4/18	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	86.30	44.0	5.0	3.04	12.17	12.43								1.98	55	8.66		26788		0.49	
4/19	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	65.30	24.0	5.0	2.24	11.62	11.93								1.97	111	8.32		5188		0.46	
4/20	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0		20.0	5.0																		
4/21	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0		21.0	5.0																		
4/22	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	54.60		5.0	3.39	18.81	18.89								2.32	1992	10.72		7389		0.68	
4/23	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0	63.70	51.2	5.0	3.43	13.28	13.95								3.38	1604	2.44		49495		0.47	
4/24	120	24.8	2.5	0.33	0		30.0		84.4	5.0																		
4/25	130	22.9	2.5	0.33	0		32.5	74.20	48.0	5.0	2.62	11.62	11.80								2.40	111	9.30		10761		0.50	
4/26	130	22.9	2.5	0.33	0		32.5	73.40	48.0	5.0	3.16	10.51	10.91								2.47	55	8.69		2111		0.46	
4/27	140	21.2	2.5	0.33	0		35.0			5.0																		
4/28	140	21.2	2.5	0.33	0		35.0			5.0																		
4/29	140	21.2	2.5	0.33	0		35.0	50.00		5.0	3.30	9.45	9.55								2.43	333	6.92		6647		0.43	
4/30	140	21.2	2.5	0.33	0		35.0	39.40		5.0	3.13	8.89	9.41								2.01	333	6.15		665		0.40	

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	Tanque A				Tanque B				Tanque C			
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C
9/1																
9/2																
9/3																
9/4																
9/5																
9/6	100	29.7	5.0	0.33	2.36	80	10.40	21.60	9.5		2.34	54	6.00	23.60	10.5	
9/7	100	29.7	5.0	0.33												
9/8	100	29.7	5.0	0.33	2.51	3500	6.40	24.35	9.5	16.5	2.43	290	3.10	19.53	10.0	
9/9	100	29.7	5.0	0.33	2.67	6200	10.30	23.08	9.0	20.8	2.55	2100	5.90	22.82	10.0	20.8
9/10	100	29.7	5.0	0.33	3.08	12100	13.02	23.78	10.0	19.3	2.82	9400	14.80	23.84	8.8	19.5
9/11	60	43.7	8.3	0.33	2.73	9510	13.40	25.00	7.0	19.4	2.67	8764	12.60	23.50	8.0	20.0
9/12	50	49.5	10.0	0.33	2.98	8391	17.45	20.32	8.0	19.4	2.89	7459	12.50	22.20	8.0	19.7
9/13	50	49.5	10.0	0.33	2.75	7692	11.00	20.86	8.6	18.7	2.64	6526	10.75	22.34	8.0	19.6
9/14	50	59.4	10.0	0.33	2.76	7132	10.90	21.96	8.0	18.5	2.54	4196	10.50	23.30	9.0	19.3
9/15	50	59.4	10.0	0.33	2.66	9230	13.00		8.0	18.5	2.41	2797	9.30		10.0	18.6
9/16																
9/17	50	59.4	10.0	0.33	2.45	1130	15.25	51.84	56.0	18.7	2.38	280	11.90	46.22	19.0	18.6
9/18	50	59.4	10.0	0.33	2.37	2126	13.93	45.40	37.0	20.8	2.29	112	12.84	48.84	83.0	20.1
9/19	50	59.4	10.0	0.33	2.39	2909	28.41	36.90	27.0	21.1	2.31	168	19.73	42.80	36.0	20.0
9/20	60	49.5	5.0	0.33	2.58	3356	22.51	30.44	25.0	21.6	2.48	168	20.77	34.50	27.0	21.1
9/21	0															
9/22	60	51.2	5.0	0.33	2.36	839	40.90	34.90	-	21.1	2.34	56	21.60	38.68	27.0	20.3
9/23	60	51.2	5.0	0.33	2.37			24.56	8.0	22.6	2.25			36.16	15.2	22.3
9/24	60	51.2	5.0	0.33	2.44	1622	13.90	21.70	-	19.9	2.37	28	14.25	26.70	10.5	19.5
9/25	70	45.0	5.0	0.33	2.35	1343	13.50	22.70	9.0	21.5	2.25	28	13.40	29.00	10.0	20.8
9/26	70	42.5	5.0	0.33	2.18	1007	11.70	28.10	9.8	19.4	2.14	28	10.70	28.30	10.0	19.4
9/27	70	42.5	5.0	0.33	2.32	336	16.70	35.00	12.4	19.5	2.27	28	11.35	31.60	11.4	19.8
9/28	80	37.2	5.0	0.33	2.39	1007	11.80	32.14	9.0	19.8	2.31	28	11.30	34.16	10.0	19.4
9/29	80	37.2	5.0	0.33	2.47	2349	12.85	32.70	8.0	19.4	2.34	28	11.50	33.30	8.0	19.3
9/30	80	37.2	5.0	0.33					9.8						10.0	10.2

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	Tanque A				Tanque B				Tanque C			
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C
10/1	0															
10/2	0															
10/3	70	42.5	5.0	0.33												
10/4	70	42.5	5.0	0.33	2.25	220	13.00	40.20	13.0	19.1	2.21	28	14.70	46.20	15.0	19.5
10/5	80	37.2	5.0	0.33	2.43	3240	16.25	43.60	40.0	21.4	2.30	28	13.30	43.90	35.0	20.8
10/6	80	37.2	5.0	0.33	2.52	3970	11.13	49.50		22.5	2.37	220	10.27	47.60		22.4
10/7	80	37.2	5.0	0.33												
10/8	80	37.2	5.0	0.33	2.54	2850	19.40	21.40		21.9	2.36	110	12.71	26.20	5.0	21.9
10/9	80	37.2	5.0	0.33	2.53	8890	19.30			24.6	2.31	340	14.50		7.0	24.8
10/10	80	37.2	5.0	0.33	2.28	1120	23.10	60.00		24.1	2.25	28	14.60	42.30	84.0	23.8
10/11	80	37.2	5.0	0.33	2.41	4590	17.20	36.00		24.4	2.26	110	14.80	42.00	64.0	24.5
10/12	80	37.2	5.0	0.33	2.28	1620	15.10	38.30		21.8	2.19	28	14.70	39.30	98.0	22.3
10/13	80	37.2	5.0	0.33												
10/14	80	37.2	5.0	0.33												
10/15	80	37.2	5.0	0.33	2.61	10180	19.80	23.00		21.4	2.36	3240	18.60	25.00		23.0
10/16	80	37.2	5.0	0.33	2.51	5150	20.40	39.00		20.7	2.33	220	18.20	68.00		21.8
10/17	80	37.2	5.0	0.33	2.47	2740	26.00	31.00		20.0	2.36	60	16.30	31.10	3.0	20.3
10/18	80	37.2	5.0	0.33	2.55	3690	12.50	30.00		19.8	2.37	60	11.40	23.00	4.0	21.0
10/19	80	37.2	5.0	0.33	2.71	14360	19.90	21.40		21.4	2.35	1170	15.90	27.70	5.0	21.2
10/20	80	37.2	5.0	0.33												
10/21	80	37.2	5.0	0.33												
10/22	80	37.2	5.0	0.33	2.59	15180	23.00	33.00		22.8	2.33	7070	22.09	97.80	99.0	24.3
10/23	90	33.0	5.0	0.33	2.37	7800	22.60			23.1	2.20	50	19.05	44.00	49.0	23.6
10/24	90	33.0	5.0	0.33	2.60	8780	18.06	15.80		21.8	2.41	1440	17.50	29.00	45.5	23.2
10/25	90	33.0	5.0	0.33	2.56	9390	17.70	22.30		22.2	2.33	1380	16.60	21.60		23.1
10/26	90	33.0	5.0	0.33	2.59	12040	20.68	17.00		20.3	2.43	3420	19.80	22.00		21.0
10/27	90	33.0	5.0	0.33												
10/28	90	33.0	5.0	0.33												
10/29	90	33.0	5.0	0.33	2.52	13200	25.08	21.50		25.4	2.28	5470	22.39	27.60		26.0
10/30	90	33.0	5.0	0.33	2.46	9610	19.66	16.80		22.3	2.21	2100	18.60	28.30		24.2
10/31	90	33.0	5.0	0.33	2.32	3040	15.85			23.7	2.21	110	15.50			24.0
												28	16.30			23.9

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m³/día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m³/m²·min	Tanque A					Tanque B					Tanque C							
					pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C
11/1																						
11/2	70	42.45943	5.0	0.33																		
11/3	70	42.45943	5.0	0.33																		
11/4	70	42.45943	5.0	0.33																		
11/5	70	42.45943	5.0	0.33																		
11/6	80	37.152	5.0	0.33	2.34	4190	17.77	22.50		22.2	2.23	220	14.65	29.40		21.9	2.17	50	13.48	27.90	21.1	
11/7	80	37.152	5.0	0.33	2.50	5630	16.38	20.90		21.3	2.31	280	14.77	26.60		21.7	2.16	28	14.42	31.80	21.0	
11/8	80	37.152	5.0	0.33	2.50	3920	15.40	20.90		22.6	2.35	170	14.10	25.60		23.2	2.30	28	13.80	28.40	22.8	
11/9	90	33.024	5.0	0.33	2.48	4640	14.70	17.70		20.9	2.30	220	14.37	20.20		21.7	2.23	28	13.57	24.20	21.5	
11/10	90	33.024	5.0	0.33	2.53	4140	12.51	26.00		19.4	2.34	280	12.92	23.40		20.4	2.28	28	12.62	24.20	20.3	
11/11	90	33.024	5.0	0.33																		
11/12	90	33.024	5.0	0.33	2.69	14900	23.72	16.50		24.0	2.34	4310	20.30	4.30		24.9	2.24	170	15.38	13.70	24.7	
11/13	100	29.7216	5.0	0.33	2.46	8230	25.82	25.60		22.6	2.20	1550	25.60	8.50		23.3	2.16	28	23.88	18.30	22.9	
11/14	100	29.7216	5.0	0.33	2.55	6630	22.81	24.50		22.9	2.37	660	23.55	30.30		25.1	2.31	28	23.30	35.70	24.8	
11/15	100	29.7216	5.0	0.33	2.51	6070	24.05	6.56		22.4	2.34	440	20.80	9.77		23.8	2.27	28	18.85	8.76	24.3	
11/16	100	29.7216	5.0	0.33	2.54	5670	17.50	14.25		22.4	2.37	330	12.05	21.30		23.2	2.30	28	11.65	24.30	22.8	
11/17	100	29.7216	5.0	0.33																		
11/18	100	29.7216	5.0	0.33																		
11/19	100	29.7216	5.0	0.33	2.53	8340	18.35	18.10		24.3	2.31	880	17.30	7.70		25.7	2.24	28	15.10	22.50	25.2	
11/20	100	29.7216	5.0	0.33	2.57	7010	19.95	25.80		22.3	2.38	500	18.80	12.00		23.5	2.38	28	16.82	20.10	23.5	
11/21	100	29.7216	5.0	0.33	2.51	3420	16.68	21.10		20.9	2.40	220	17.99	29.50		22.5	2.36	28	16.84	30.40	22.2	
11/22	100	29.7216	5.0	0.33	2.44	3420	14.83	22.20		21.5	2.36	28	14.18	26.00		22.3	2.31	28	15.66	31.30	22.3	
11/23	110	27.01964	5.0	0.33	2.43	2650	13.17	22.70		21.9	2.31	28	13.12	24.90		23.1	2.29	28	13.71	27.50	22.6	
11/24	110	27.01964	5.0	0.33																		
11/25	110	27.01964	5.0	0.33	2.38			21.30	46.0	24.4	2.22			22.90	35.0	24.6	2.20			22.30	32.0	24.4
11/26	110	27.01964	5.0	0.33	1.99	3700	11.27	22.62	23.0	23.7	1.87	220	10.39	27.52	32.0	23.6	1.83	28	9.36	29.68	35.0	23.4
11/27	110	27.01964	5.0	0.33	1.99	1100		25.72	25.0	19.1	2.15	110		30.72	30.0	18.8	1.98	50		30.76	29.0	19.1
11/28	110	27.01964	5.0	0.33	2.17	N.D.		46.46	39.0	22.1	2.16	N.D.		33.04	31.0	22.8	2.14	N.D.		31.44	28.0	22.8
11/29	90	33.024	5.0	0.33	2.26	170	10.25	34.28	30.2	23.0	2.24	N.D.	9.50	34.16	30.0	23.2	2.26	N.D.	10.00	32.20	29.4	23.0
11/30	110	27.01964	5.0	0.33	2.26	880	8.37	31.96	23.5	23.0	2.15	28	8.42	31.88	26.0	23.3	2.07	N.D.	9.20	32.52	28.0	22.7

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	Tanque A				Tanque B				Tanque C			
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C
12/1	110	27.01964	5.0	0.33												
12/2	110	27.01964	5.0	0.33												
12/3	110	27.01964	5.0	0.33	2.28	280	10.05	45.88	14.0	20.9	2.26	N.D.	9.65	42.36	13.0	20.8
12/4	110	27.01964	5.0	0.33	2.39	940	9.26	38.64	15.0	20.8	2.32	28	10.30	45.40	20.0	20.7
12/5	110	27.01964	5.0	0.33	2.36	770	7.86	34.04	11.0	21.9	2.28	28	8.11	39.40	14.0	22.5
12/6	110	27.01964	5.0	0.33	2.35	880	11.02	35.84	9.0	23.0	2.25	28	7.46	40.32	10.0	23.6
12/7	100	29.7216	5.0	0.33	2.33	3200	10.83	38.48	9.0	24.7	2.19	N.D.	8.84	39.08	11.0	24.7
12/8	100	29.7216	5.0	0.33					27.0						12.0	
12/9	100	29.7216	5.0	0.33					20.0						24.0	
12/10	100	29.7216	5.0	0.33	2.22			48.88	25.0	25.1	2.16			49.80	27.0	25.6
12/11	100	29.7216	5.0	0.33	2.38	4580	12.38	52.16	16.0	22.7	2.23	N.D.	10.59	49.60	18.0	22.9
12/12	100	29.7216	5.0	0.33	2.44	5470	13.30	56.48	16.0	24.2	2.29	N.D.	12.02	55.68		24.0
12/13	100	29.7216	5.0	0.33	2.44	4970	12.02	39.68	9.0	24.3	2.30	N.D.	11.15	45.00	10.0	24.2
12/14	100	29.7216	5.0	0.33	2.49	4750	11.48	29.90	2.0	21.3	2.29	N.D.	10.24	31.60	2.0	21.8
12/15	100	29.7216	5.0	0.33	2.53						2.28				10.0	
12/16	100	29.7216	5.0	0.33												
12/17	100	29.7216	5.0	0.33	2.15	610		62.56	80.0	25.4	2.09	28		58.56	60.0	25.7
12/18	100	29.7216	5.0	0.33	2.20	440	10.65	41.76	35.0	27.0	2.14	28	10.45	50.96	45.0	26.9
12/19	100	29.7216	5.0	0.33	2.21	940	8.42	40.28	28.0	24.1	2.09	28	8.47	43.68	35.0	24.4
12/20	100	29.7216	5.0	0.33	2.19	820	7.38	34.04	22.0	24.9	2.08	28	6.83	41.08	25.0	25.1
12/21	100	29.7216	5.0	0.33	2.50	10160	15.45	32.76	12.5	25.2	2.35	1	10.15	36.36	25.0	25.3
12/22	100	29.7216	5.0	0.33												
12/23	110	27.01964	5.0	0.33												
12/24	110	27.01964	5.0	0.33	2.20	3640	10.20	42.64	25.0	25.0	2.07	N.D.	9.16	46.04	33.0	25.9
12/25	110	27.01964	5.0	0.33				58.64	22.0					45.36	28.0	
12/26			5.0	0.33												
12/27			5.0	0.33	2.12	280	9.60	58.64	27.0	25.0	2.12	N.D.	7.31	45.36	24.0	24.3
12/28			5.0	0.33	2.00			79.64	32.0	22.7	1.99			65.60	26.0	22.9
12/29	80	37.152	5.0	0.33												
12/30	100	29.7216	5.0	0.33												
12/31	100	29.7216	5.0	0.33	2.35	4200	9.37	49.80	20.0	24.1	2.33	N.D.	8.39	50.16	25.0	24.3
												28	8.06	55.72	27.0	24.2

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	Tanque A				Tanque B				Tanque C			
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C
1/1	100	29.7216	5.0	0.33	2.20	110		63.08	27.0	23.3	2.16	28		58.88	26.0	23.2
1/2																
1/3	80	37.152	5.0	0.33	2.25	1490	11.55	68.68	29.0	23.9	2.16	N.D.	7.70	76.72	29.0	24.7
1/4	100	29.7216	5.0	0.33	2.23	2320	8.28	61.84	30.0	22.5	2.11	N.D.	7.77	61.68	34.0	22.9
1/5	110	27.01964	5.0	0.33												
1/6	100	29.7216	5.0	0.33												
1/7	90	33.024	5.0	0.33	2.09	28	15.10	80.20	30.0	22.7	2.03	N.D.	11.05	59.16	25.0	23.0
1/8	110	27.01964	5.0	0.33	2.37	3460	12.01	50.52	20.0	21.8	2.25	N.D.	10.60	61.60	26.0	22.5
1/9	100	29.7216	5.0	0.33	2.25	4530	12.05	58.60	15.0	23.7	2.10	N.D.	10.77	65.36	21.0	24.2
1/10	100	29.7216	2.5	0.33	2.33	11050	17.70	15.76	11.0	26.7	2.08	1	13.46	73.72	15.0	27.5
1/11	100	29.7216	2.5	0.33	2.24	6980	13.63	62.76	12.0	25.7	2.11	1	13.57	66.20	14.0	26.2
1/12	100	29.7216	2.5	0.33												
1/13	100	29.7216	2.5	0.33												
1/14	100	29.7216	2.5	0.33	1.99	450	10.51	96.28	22.0	23.5	1.97	28	9.72	85.84	21.0	24.1
1/15	100	29.7216	2.5	0.33	2.15	9490	15.21	80.52	14.0	25.9	1.98	1	12.25	82.20	20.0	26.8
1/16	100	29.7216	2.5	0.33	2.15	5240	12.69	81.52	15.0	24.4	2.03	N.D.	11.14	85.60	26.0	24.5
1/17	100	37.152	2.5	0.33	2.04	1950	17.70	84.88	21.0	25.4	1.95	28	10.14	88.96	26.0	25.6
1/18	100	29.7216	2.5	0.33	2.00	670	9.70	104.04	22.0	24.3	1.97	28	9.44	113.64	21.0	24.6
1/19	100	29.7216	2.5	0.33												
1/20	100	29.7216	2.5	0.33												
1/21	100	29.7216	2.5	0.33	2.15	6810	12.40	66.76	12.0	24.2	1.99	N.D.	11.34	69.32	15.0	25.1
1/22	100	29.7216	2.5	0.33	2.11	5470	11.87	62.00	11.0	25.1	1.97	N.D.	11.08	60.76	13.0	25.4
1/23	100	29.7216	2.5	0.33	2.16	5250	10.00	65.00	7.0	23.9	1.96	N.D.	9.37	68.00	13.0	25.2
1/24	100	29.7216	2.5	0.33	2.04	4240	9.56	66.00	11.0	24.3	1.91	N.D.	8.40	71.12	13.0	25.0
1/25	100	29.7216	2.5	0.33	2.14	3620	9.22	62.24	20.0	23.3	1.93	N.D.	8.74	82.12	28.0	23.1
1/26	100	29.7216	2.5	0.33												
1/27	100	29.7216	2.5	0.33												
1/28	90	33.024	2.5	0.33	2.25	6080	11.92	104.68	4.0	25.0	2.01	1	11.28	75.16	9.0	25.8
1/29	90	33.024	2.5	0.33	2.29	7140	10.10	49.84	10.0	23.2	1.95	N.D.	9.56	67.00	16.0	24.4
1/30					1.89	N.D.	13.16	70.00	16.0	24.6	1.87	N.D.	9.17	70.00	14.0	24.9
1/31	50	59.4	2.5	0.33	1.75	N.D.	10.19	78.32	22.4	22.7	1.75	N.D.	8.98	69.68	19.4	23.3

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Alire m ³ /m ² -min	Tanque A						Tanque B						Tanque C					
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	Lodo bacteria v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	Lodo bacteria v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	Lodo bacteria v/v%	Temp. °C
2/1	100	29.7	2.5	0.33	1.90	6810	12.60	51.76	11.0	23.3	1.78	1	9.23	61.80	16.0	23.7	1.75	28	8.75	71.48	18.0	23.6
2/2	100	29.7	2.5	0.33																		
2/3	100	29.7	2.5	0.33																		
2/4	90	33.0	2.5	0.33	1.73	28	10.63	99.80	31.4	23.3	1.69	28	9.76	78.80	29.4	24.0	1.67	28	10.00	71.24	25.0	24.2
2/5	100	29.7	2.5	0.33	1.95	2510	9.24	68.00	19.0	23.0	1.85	N.D.	9.53	77.56	24.0	23.4	1.80	28	10.00	80.56	26.0	23.5
2/6	100	29.7	2.5	0.33	1.86	1620	7.54	73.56	20.0	22.9	1.76	28	8.22	77.20	27.0	23.1	1.61	N.D.	8.61	78.56	26.0	23.0
2/7	100	29.7	2.5	0.33	1.91	8010	13.84	77.80	19.0	24.2	1.79	1	9.21	82.32	28.0	24.3	1.69	28	8.08	83.60	27.0	24.0
2/8	100	29.7	2.5	0.33	2.26	17250	23.11	69.32	13.0	23.5	1.94	3	14.93	81.68	22.0	23.9	1.87	N.D.	11.67	80.96	27.0	23.4
2/9	100	29.7	2.5	0.33					15.0						25.0						27.0	
2/10	100	29.7	2.5	0.33																		
2/11	100	29.7	2.5	0.33	1.65	170	13.79	118.70	37.0	24.8	1.62	28	17.25	95.12	30.0	25.0	1.60	28	14.88	85.50	28.0	25.3
2/12	100	29.7	2.5	0.33	1.97	8420	15.53	74.00	21.0	24.1	1.76	1	14.42	94.40	20.0	24.8	1.70	28	14.56	104.20	15.0	24.3
2/13	100	29.7	2.5	0.33	2.41	5470	11.88	79.00	13.0	23.4	2.24	N.D.	14.27	79.00	10.0	24.3	2.18	28	13.19	87.00	17.0	24.3
2/14	100	29.7	2.5	0.33	2.23	3290	11.64	88.00	18.0	23.5	2.12	N.D.	10.79	90.00	17.0	24.1	2.07	28	11.31	80.00	15.0	24.0
2/15	100	29.7	2.5	0.33	2.43	9820	19.62		13.0	23.2	2.16	1	12.39		15.0	23.7	2.11	28	11.74		16.0	23.0
2/16	100	29.7	2.5	0.33																		
2/17	100	29.7	2.5	0.33																		
2/18	80	37.2	2.5	0.33	2.61	15460	25.95	83.00	7.0	22.6	2.22	2	17.70	96.00	7.0	23.9	2.15	28	13.65	94.00	9.0	23.7
2/19	50	59.4	2.5	0.33	2.32	10160	25.85		6.0	22.4	2.11	N.D.	12.20			22.3	2.12	N.D.	11.60		98.0	22.4
2/20	60	49.5	2.5	0.33	2.23	4970	20.84	44.00		23.9	2.10	N.D.	15.79			24.0	2.07	28	13.32			23.5
2/21	70	42.5	2.5	0.33	2.23	2790	14.41	37.00	67.0	22.5	2.08	N.D.	14.00	49.00	97.0	22.9	2.06	28	14.16	48.00	99.0	22.9
2/22	90	33.0	2.5	0.33	2.23	2070	16.32	45.52	80.0	23.4	2.08	28	10.70	51.48	57.0	23.5	2.03	28	12.69	55.00	97.0	23.1
2/23	90	33.0	2.5	0.33																		
2/24	90	33.0	2.5	0.33																		
2/25	90	33.0	2.5	0.33	2.57	9990	14.63	21.96	25.0	25.4	2.23	1	10.79	26.76	90.0	25.8	2.11	28	9.41	29.36	36.0	25.1
2/26	90	33.0	2.5	0.33	2.60	8650	15.17	23.92	60.0	24.0	2.36	1	12.63	32.04	59.0	23.9	2.29	28	10.75	37.64	39.0	23.8
2/27	0																					
2/28	70	42.5	2.5	0.33	2.17	28	18.46	34.40	32.0	22.4	2.14	N.D.	10.37	36.50	31.0	23.4	2.13	28	10.89	30.30	30.0	23.2

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	Tanque A				Tanque B				Tanque C			
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C
3/1	70	42.5	2.5	0.33												
3/2	70	42.5	2.5	0.33												
3/3	70	42.5	2.5	0.33												
3/4	70	42.5	2.5	0.33	2.06	28	9.72	38.64	54.0	22.5	2.04	28	9.29	40.60	50.0	22.9
3/5	70	42.5	2.5	0.33	2.20	28	10.84	37.80	56.0	22.0	2.15	28	10.09	11.79	52.0	22.4
3/6	70	42.5	2.5	0.33	2.20	1670	11.40	38.60	95.0	22.2	2.06	N.D.	8.88	49.64	62.0	22.4
3/7	80	37.2	2.5	0.33	2.54	14290	19.72	32.60		22.4	2.20	2	13.72	38.12		22.8
3/8	80	37.2	2.5	0.33	2.68	17760	20.66			23.1	2.35	9	18.26			23.5
3/9	80	37.2	2.5	0.33												
3/10	80	37.2	2.5	0.33												
3/11	80	37.2	2.5	0.33	1.93	1100	17.88			27.8	1.86	N.D.	14.81			28.3
3/12	80	37.2	2.5	0.33	2.03	6140	17.41			25.8	1.85	N.D.	18.81			26.4
3/13	90	33.0	2.5	0.33	1.99	2930	17.88	38.00		26.3	1.84	N.D.	15.61	48.00	98.0	26.0
3/14	90	33.0	2.5	0.33	2.15	3370	12.87	37.00	98.0	23.6	1.97	N.D.	13.94	27.00	98.0	24.5
3/15	100	29.7	2.5	0.33	2.31	8300	14.04	22.00	94.0	23.2	2.10	1	11.43	27.00	99.0	23.5
3/16	100	29.7	2.5	0.33					87.0						53.0	
3/17	100	29.7	2.5	0.33					96.0						42.0	
3/18	100	29.7	2.5	0.33	1.90	2430	11.77	24.00	40.0	26.2	1.79	28	11.72	27.00	95.0	27.3
3/19	100	29.7	2.5	0.33	2.25	4200	15.35	16.00	39.0	24.0	2.10	N.D.	10.69	20.00	33.0	24.6
3/20	110	27.0	2.5	0.33	2.28	4480	9.16	14.00	15.0	23.8	2.13	N.D.	9.35	18.00	18.0	24.1
3/21	110	27.0	2.5	0.33	2.25	2930	7.75	16.00	19.0	22.9	2.06	N.D.	7.40	17.00	16.0	23.5
3/22	110	27.0	2.5	0.33	1.93	440	6.75	22.00	16.0	22.9	1.78	28	6.75	20.00	18.0	23.6
3/23	110	27.0	2.5	0.33												
3/24	110	27.0	2.5	0.33												
3/25	70	42.5	2.5	0.33	2.51	60	8.03	19.00	19.0	22.4	2.44	28	6.90	25.00	19.0	22.5
3/26	90	33.0	2.5	0.33	2.00	280	12.00	28.00	18.0	25.7	1.89	28	10.93	29.00	18.0	21.8
3/27	100	29.7	2.5	0.33	2.03	1000	8.23	28.00	30.0	22.5	1.92	28	7.04	29.00	34.0	22.6
3/28	110	27.0	2.5	0.33	2.00	60	8.87		20.0	22.5	1.93	N.D.	8.33		20.0	22.5
3/29	110	27.0	2.5	0.33												
3/30	110	27.0	2.5	0.33												
3/31	90	33.0	2.5	0.33												

Cuadro Anexo 4-2 Resultados en el Circuito de Oxidación

Fecha	Tratam. m ³ /día	Tiemp. Ox. h	Nutriente mg/L	Aire m ³ /m ² -min	Tanque A					Tanque B					Tanque C							
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C	pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T g/L	Lodo bacteria g/L	v/v%	Temp. °C
4/1	100	29.7	2.5	0.33	1.91	940	4.57	35.64		21.6	1.89	55	3.81	32.96		21.6	1.96	28	4.11	31.76		21.3
4/2	100	29.7	2.5	0.33	2.21	940	5.98	47.36	18.4	20.6	2.12	55	5.28	51.48	21.0	20.7	2.08	28	5.13	48.40	21.0	20.9
4/3	100	29.7	2.5	0.33	2.30	8851	12.44	42.72	14.0	20.8	2.08	996	7.46	44.68	17.6	20.6	2.03	28	5.47	45.96	19.0	20.4
4/4	100	29.7	2.5	0.33	2.68	16596	18.73		14.0	24.6	2.17	5034	12.99		13.6	24.4	2.08	498	9.46		18.4	24.2
4/5	80	37.2	2.5	0.33																		
4/6	80	37.2	2.5	0.33																		
4/7	90	33.0	2.5	0.33																		
4/8	90	33.0	2.5	0.33	1.75	277	10.49	75.56	30.0	22.2	1.73	55	11.08	76.48	30.0	22.1	1.69	553	11.96	75.36	28.0	22.7
4/9	90	33.0	2.5	0.33	2.11	1881	10.83	55.68	21.0	20.5	2.01	55	10.39	65.88	26.0	20.7	1.88	55	10.97	71.96	27.0	20.6
4/10	110	27.0	2.5	0.33	2.19	2987	9.26	46.20		22.1	2.08	221	9.01	54.16		22.5	2.03	55	9.46	63.00		22.6
4/11	120	24.8	2.5	0.33	2.20	3817	7.82	26.96	12.0	20.3	1.97	553	8.07	33.68	16.0	20.6	1.95	55	8.17	71.48	17.0	20.7
4/12	120	24.8	2.5	0.33	2.17	4592	9.81	52.36	10.0	20.4	2.03	553	8.06	63.72	13.0	20.6	1.86	55	7.67	60.08	14.0	20.2
4/13	120	24.8	2.5	0.33					10.0						10.0						10.0	
4/14	120	24.8	2.5	0.33																		
4/15	120	24.8	2.5	0.33	1.83	609	11.50	50.24	15.0	22.9	1.72	55	10.68	53.48	25.0	22.9	1.87	55	10.97	54.44	15.0	22.3
4/16	120	24.8	2.5	0.33	2.44	2711	11.21	42.72	27.0	20.8	2.34	277	12.38	47.40	31.0	21.0	2.30	111	10.68	52.12	36.0	20.9
4/17	120	24.8	2.5	0.33	2.13	4536	10.29	32.04	20.0	20.3	1.97	664	9.85	40.68	26.0	20.7	1.90	221	9.31	44.40	27.0	20.9
4/18	120	24.8	2.5	0.33	2.28	4979	10.15	32.48	4.0	20.1	2.08	940	8.86	32.36	10.0	20.6	1.98	166	14.21	38.76	15.0	20.9
4/19	120	24.8	2.5	0.33	2.26	6085	10.05	15.12	1.0	20.2	2.11	2213	9.85	17.60	2.0	21.0	1.98	277	9.21	28.28	6.0	20.9
4/20	120	24.8	2.5	0.33					12.0						16.0						16.0	
4/21	120	24.8	2.5	0.33					20.0						22.0						20.0	
4/22	120	24.8	2.5	0.33	2.92	14660	16.20	16.76		22.6	2.58	9017	14.09	15.32		21.4	2.40	3043	12.02	15.16		21.8
4/23	120	24.8	2.5	0.33	2.74	8077	13.02	20.12	16.0	19.7	2.59	5809	15.22	21.84	1.0	19.8	2.48	1660	12.00	26.72	25.0	19.8
4/24	120	24.8	2.5	0.33					21.0						26.0						31.0	
4/25	130	22.9	2.5	0.33	2.44	3706	9.80	18.60	14.0	19.3	2.40	498	8.80	22.56	17.0	19.9	2.40	111	9.25	24.00	19.0	19.9
4/26	130	22.9	2.5	0.33	2.64	4149	8.59	19.60	10.0	18.9	2.49	609	8.33	16.68	20.0	19.3	2.43	111	8.38	25.80	17.0	19.6
4/27	140	21.2	2.5	0.33																		
4/28	140	21.2	2.5	0.33																		
4/29	140	21.2	2.5	0.33	2.84	6335	8.86	9.72		23.0	2.56	3112	7.86	12.96		22.7	2.45	722	6.82	16.80		22.8
4/30	140	21.2	2.5	0.33	2.36	4612	7.95	13.44		19.2	1.99	1556	6.73	13.96		19.8	2.06	222	6.10	16.36		19.7

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO ₃										Regulación de pH										Filtración		Torta	
	Tratam. m ³ /día	pH	CaCO3 g/L	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Tratam. m ³ /día	Cal	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Frec. ciclo/día	Vol. Torta m ³ /día	Hum. %	Cant. t/día			
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T mg/L	Cu mg/L					Pptado. g/L	pH	Fe-T mg/L	Mn mg/L						Mg mg/L	Pptado. g/L	
9/1																								
9/2																								
9/3																								
9/4																								
9/5																								
9/6	100	3.0								0														
9/7	100	3.0								0														
9/8	100	3.0		2.1	3.57	40	500	133	10.68	4		1.3												
9/9	100	4.5		2.1	5.16	4	500		28.84	8		1.3	4.94	800.0			15.44	1	3.1	45.00	4.6			
9/10	100	4.5		2.1	5.01	2300	2300	41	48.16	8		1.3	8.20	1800.0	189.0	3573	2.64	2	6.2	44.67	9.3			
9/11	60	4.5		3.4	5.28	1600	2600	3.6	97.70	12		1.3	8.41	0.2	92.0	4079	0.04	3	8.5	41.55	13.1			
9/12	50	3.2		4.1	2.78	5091	10150	117	1.52	10		1.3	4.46					1	3.1	45.04	4.6			
9/13	50	3.2		4.1	3.30	5146	5800	116	26.02	16		1.3	8.48	0.2	1.6	2734	48.36			52.86				
9/14	50	3.2		4.1	3.12	3186	3793	116	23.54	8		1.3	7.93	0.8	1.3	1570	47.06	1	3.4	45.00	5.1			
9/15	50	3.2		4.1	3.19	28	343		28.31	10		1.3	8.50				36.86	1	3.2	44.18	4.8			
9/16										0								1	3.2	45.00	4.8			
9/17	50	3.2		4.1	3.51	N.D.	56		38.26	0			-	-	-	-		1	3.2	45.00	4.8			
9/18	50	3.2		4.1	3.79	N.D.	135	67	37.80	0			-	-	-	-		2	6.1	45.31	9.1			
9/19	50	3.2		4.1	2.65	28	9070	126	30.18	0			-	-	-	-		1	2.8	46.70	4.1			
9/20	60	3.5		3.4	3.76	N.D.	2293	92	77.40	0			-	-	-	-		3	10.1	48.27	14.6			
9/21	0									0										45.00				
9/22	60	3.5		3.4	3.41	N.D.	389	98	44.40	8		1.3	-	-	-	-		1	3.3	48.80	4.8			
9/23	60	3.5		3.4	3.72				44.40	16		1.3	8.34					3	10.8	48.73	15.6			
9/24	60	3.5		3.4	3.67	N.D.	1400	78	63.94	12		1.3	8.43	3.0	18.0	3850	24.96	2	6.8	49.38	9.8			
9/25	70	3.5		2.9	3.68	N.D.	1379	78	57.00	10		1.3	8.40	0.4	6.0	810	34.00	2	5.5	50.80	7.8			
9/26	70	3.5		2.9	3.22	N.D.	400	84	50.00	6								1	2.5	50.00	3.6			
9/27	70	3.5		2.9	3.49	N.D.	332	104	45.20	6								2	6.2	46.80	9.1			
9/28	80	3.5		2.6	3.83	N.D.	412		46.44	8		1.1	8.44	2.7			36.14	3	9.5	47.09	13.9			
9/29	80	3.5		2.6	4.01	N.D.	149		48.00	4		0.9	8.43				32.24	2	6.8	53.80	9.4			
9/30	80	3.5		2.6	3.80					4		0.9	8.58					3	8.6	52.30	12.0			

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO ₃										Regulación de pH										Filtración		Torta	
	Tratam.	pH	CaCO3	Tiemp. Neut.	Calidad Solución Neutralizada					Sedimento	Tratam.	Cal	Tiemp. Neut.	Calidad Solución Neutralizada					Sedimento	Frec.	Vol. Torta	Hum.	Cant.	
					pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu	Pptado.					pH	Fe-T	Mn	Mg	Pptado.						
	m ³ /día		g/L	h	mg/L	mg/L	mg/L	g/L	t/día	m ³ /día	g/L	h	mg/L	mg/L	mg/L	g/L	t/día	ciclo/día	m ³ /día	%	t/día	3.9		
10/1	0																	1	2.9	56.02	3.9			
10/2	0																							
10/3	70	3.5		2.9																				
10/4	70	3.5		2.9	3.24	N.D.	400	122	45.50	6		0.8	8.65	1.0	23.0	25.60				44.78				
10/5	80	3.5		2.6	3.06	N.D.	760	129	28.40	3		1.0	10.36	3.3		5169	42.20							
10/6	80	3.5		2.6	2.32					3		1.0						4	8.3	45.14	12.3			
10/7	80	3.5		2.6						3		1.0						2	5.5	42.85	8.4			
10/8	80	3.5		2.6	2.55	28	3018	99	38.10	0		1.0						3	7.4	48.71	10.7			
10/9	80	3.5		2.6	2.31	28	4270	85	114.00	0		1.0	7.84					1	1.4	44.68	2.1			
10/10	80	3.5		2.6	2.55	28	4300	63	14.00	0		1.0						1	1.9	44.89	2.8			
10/11	80	3.5		2.6	2.71	N.D.	2900		82.00	4		1.0						3	5.1	44.08	7.6			
10/12	80	3.5		2.6	2.55	28	5500	112	41.20	5		1.0	8.07	0.4	9.4	37.00		3	5.8	46.79	8.5			
10/13	80	3.5		2.6						3		1.0						3	7.5	42.64	11.4			
10/14	80	3.5		2.6						3		1.0						3	8.0	45.75	11.9			
10/15	80	3.5		2.6	2.74	60	1050	62	50.00	6		1.0						4	9.8	48.34	14.2			
10/16	80	3.5		2.6	3.52	N.D.	830	82	76.00	3		1.0						2	5.3	46.68	7.8			
10/17	80	3.5		2.6	3.61	28	4190	108	102.00	6		1.0	7.65	1.4	90.0	27.00		2	5.0	46.01	7.4			
10/18	80	3.5		2.6	3.32	N.D.	2100	112	83.50	5		1.0						4	8.9	42.03	13.7			
10/19	80	3.5		2.6	3.68	N.D.	940	69	72.50	7		1.0						4	9.1	44.04	13.8			
10/20	80	3.5		2.6						6		1.0						3	7.2	43.76	10.8			
10/21	80	3.5		2.6						6		1.0						4	10.1	46.76	14.8			
10/22	80	3.5		2.6	3.80	220	483	65	121.00	4		1.0						4	9.0	46.91	13.2			
10/23	90	3.5		2.3	3.37	N.D.	245	73	123.00	2		1.0	7.79	5.9	187.0	27.00		4	9.3	48.21	13.5			
10/24	90	3.5		2.3	3.23	N.D.	398	83	87.00	5		1.0	8.17	0.4	38.0	35.00		3	7.7	50.03	11.0			
10/25	90	3.5		2.3	3.49	N.D.	265	86	93.00	0		1.0						3	7.9	46.65	11.6			
10/26	90	3.5		2.3	3.41	N.D.	299	75	90.10	3		1.0						4	10.8	45.29	16.1			
10/27	90	3.5		2.3						5		1.0						4	11.9	46.82	17.5			
10/28	90	3.5		2.3						6		1.0						4	11.8	48.75	17.0			
10/29	90	3.5		2.3	3.09	110	609	95	86.30	1		1.0	7.66	1.4	84.0	27.40		6	8.2	50.47	11.7			
10/30	90	3.5		2.3	3.45	N.D.	244	89	102.00	1		1.0						9	11.5	54.24	15.9			
10/31	90	3.5		2.3						3		1.0	7.62	0.4				3	5.4	53.89	7.4			

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO ₃										Regulación de pH										Filtración		Torta	
	Tratam. m ³ /día	pH	CaCO3 g/L	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Tratam. m ³ /día	Cal	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Frec. ciclo/día	Vol. Torta m ³ /día	Hum. %	Cant. t/día			
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T mg/L	Cu mg/L					Pptado. g/L	pH	Fe-T mg/L	Mn mg/L						Mg mg/L	Pptado. g/L	
11/1										0														
11/2	70	3.5		2.9						0		1.0						1	1.8	53.02	2.5			
11/3	70	3.5		2.9						1		1.0						1	2.7	49.40	3.9			
11/4	70	3.5		2.9						1		1.0						1	2.6	52.68	3.6			
11/5	70	3.5		2.9						3		1.0						2	5.0	51.45	7.1			
11/6	80	3.5		2.6	3.76	28	571	113	87.18	2		1.0						4	10.6	52.29	14.9			
11/7	80	3.5		2.6	3.64	N.D.	347	94	97.72	4		1.0						3	8.3	50.38	11.8			
11/8	80	3.5		2.6	3.45	N.D.	165	111	75.70	2		1.0						4	10.9	45.90	16.1			
11/9	90	3.5		2.3	3.70	N.D.	352		72.00	4		1.0						4	10.3	46.03	15.2			
11/10	90	3.5		2.3	3.53	N.D.	138		65.30	4		1.0						4	10.2	46.14	15.1			
11/11	90	3.5		2.3						3		1.0						2	5.3	46.04	7.8			
11/12	90	3.5		2.3	3.36	N.D.	306		66.00	5		1.0						4	9.0	47.36	13.2			
11/13	100	3.5		2.1	3.85	N.D.	1348		86.00	4		1.0						6	13.2	47.29	19.3			
11/14	100	3.5		2.1	3.47	N.D.	1305		93.50	6		1.0						6	12.5	46.33	18.4			
11/15	100	3.5		2.1	3.48	N.D.	875		39.77	4		1.0						7	13.7	49.28	19.7			
11/16	100	3.5		2.1	3.54	N.D.	995		67.26	4		1.0	7.97	0.5		28.04		4	8.8	49.40	12.6			
11/17	100	3.5		2.1						5		1.0						5	11.2	47.74	16.3			
11/18	100	3.5		2.1						1		1.0						5	12.7	45.00	19.0			
11/19	100	3.5		2.1	3.31		535		71.12	3		1.0	8.10	0.2		35.68		4	10.6	44.10	15.9			
11/20	100	3.5		2.1	3.60		284		77.98	2		1.0						3	6.6	44.75	9.9			
11/21	100	3.5		2.1	3.50		266		93.68	1		1.0	7.82	0.5		35.52		5	11.0	45.01	16.4			
11/22	100	3.5		2.1	3.55	N.D.	207		85.82	2		1.0	8.11	N.D.		29.14		5	12.3	44.20	18.5			
11/23	110	3.5		1.9	3.42	N.D.	937		82.40	3		1.0						7	17.7	45.23	26.4			
11/24	110	3.5		1.9						3		1.0						6	14.4	47.13	21.1			
11/25	110	3.5		1.9						4		1.0						4	10.3	47.28	15.1			
11/26	110	3.5		1.9	3.58	N.D.	515		66.68	2		1.0	7.36	0.1		8.50		6	14.3	47.50	20.9			
11/27	110	3.5		1.9						4		1.0						5	9.2	48.68	13.3			
11/28	110	3.5		1.9						0		1.0												
11/29	90	3.5		2.3						2		1.0						2	2.8	50.72	4.0			
11/30	110	3.5		1.9	4.36	N.D.	69		41.74	2		1.0						7	13.7	48.87	19.8			

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO ₃										Regulación de pH										Filtración		Torta	
	Tratam. m ³ /día	pH	CaCO3 g/L	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Tratam. m ³ /día	Cal	Tiemp. Neut.		Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Frec. ciclo/día	Vol. Torta m ³ /día	Hum.	Cant.		
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T mg/L	Cu mg/L				Pptado. g/L	h	h	pH	Fe-T mg/L	Mn mg/L						Mg mg/L	Pptado. g/L
12/1	110	3.5		1.9						3								5	10.2	49.63	14.6			
12/2	110	3.5		1.9						2								3	6.7	52.59	9.4			
12/3	110	3.5		1.9						1								3	7.6	50.17	10.8			
12/4	110	3.5		1.9	5.54	N.D.	175		51.04	2			7.66	0.8		3.28		5	11.4	51.17	16.1			
12/5	110	3.5		1.9	4.89	N.D.	95		73.36	2								5	12.4	47.68	18.1			
12/6	110	3.5		1.9	3.84	N.D.	2834		42.72	3								6	14.9	45.04	22.2			
12/7	100	3.5		2.1	3.59	N.D.	314		37.28	4			7.88	0.7		4.86		5	10.9	45.68	16.2			
12/8	100	3.5		2.1						2								5	11.8	46.54	17.4			
12/9	100	3.5		2.1						3								2	4.9	46.57	7.2			
12/10	100	3.5		2.1						0								1	2.0	48.21	2.9			
12/11	100	3.5		2.1	3.73	N.D.	167		32.32	3								3	5.9	47.99	8.6			
12/12	100	3.5		2.1	3.53	N.D.	734		47.84	4								7	14.8	48.17	21.5			
12/13	100	3.5		2.1	3.19	N.D.	207		77.24	3								6	13.3	43.76	20.1			
12/14	100	3.5		2.1	3.22	N.D.	273		71.80	0								5	12.2	44.46	18.3			
12/15	100	3.5		2.1						0								5	11.8	42.33	18.0			
12/16	100	3.5		2.1						0								0						
12/17	100	3.5		2.1	3.91	N.D.			57.48	1								4	8.9	47.62	13.0			
12/18	100	3.5		2.1	3.66	N.D.	130		84.56	2								4	9.7	47.43	14.2			
12/19	100	3.5		2.1	3.68	N.D.	46		77.08	1								7	17.2	48.23	24.9			
12/20	100	3.5		2.1	3.67	N.D.	45		55.00	1				N.D.		24.52		5	12.0	46.36	17.7			
12/21	100	3.5		2.1	3.81	N.D.	45		58.68	5				0.2		17.68		4	9.6	47.28	14.0			
12/22	100	3.5		2.1						3								5	11.7	48.56	16.9			
12/23	110	3.5		1.9						1								5	11.3	48.23	16.4			
12/24	110	3.5		1.9	3.45	N.D.	148		39.80	2			7.45	0.1		12.24		7	15.0	56.29	20.3			
12/25	110	3.5		1.9						2								4	8.8	46.77	12.9			
12/26										0								0			0.0			
12/27										0								0			0.0			
12/28										0								0			0.0			
12/29	80	3.5		2.6						0								0			0.0			
12/30	100	3.5		2.1						0								3	7.3	47.74	10.6			
12/31	100	3.5		2.1	3.48	N.D.	330			0								3	8.1	50.00	11.6			

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO ₃										Regulación de pH										Filtración		Torta	
	Tratam.	pH	CaCO3	Tiemp. Neut.	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento	Tratam.	Cal	Tiemp. Neut.	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento	Frec.	Vol. Torta	Hum.	Cant.			
					pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu					Pptado.	pH	Fe-T	Mn						Mg	Pptado.	
																								h
1/1	100	3.5		2.1						0						0						0.0		
1/2		3.5								0						0						0.0		
1/3	80	3.5		2.6	4.42	N.D.	90		33.36		2					2	5.7	48.57	8.2			8.2		
1/4	100	3.5		2.1	4.50	N.D.	323		40.40		2					2	6.2	48.23	9.0			9.0		
1/5	110	3.5		1.9							0						3	8.1	46.05	12.0				
1/6	100	3.5		2.1							0						0					0.0		
1/7	90	3.5		2.3							0						1	2.4	46.15	3.5				
1/8	110	3.5		1.9	3.90	N.D.	151		44.60		2						2	5.2	44.50	7.8				
1/9	100	3.5		2.1	4.10	N.D.	195		48.50		5						3	8.2	46.37	12.1				
1/10	100	3.5		2.1	3.85	N.D.	120		42.50		2			7.76	0.1		3	8.6	45.15	12.8				
1/11	100	3.5		2.1	4.18	N.D.			71.20		3						3	8.3	46.55	12.2				
1/12	100	3.5		2.1							3						1	3.0	40.31	4.7				
1/13	100	3.5		2.1							0						0					0.0		
1/14	100	3.5		2.1	4.04	N.D.	370		61.48		3						2	6.1	47.04	8.9				
1/15	100	3.5		2.1	3.51	N.D.	1376		44.52		2			8.08	3.5		2	5.4	41.41	8.3				
1/16	100	3.5		2.1	3.53	N.D.	137		37.68		3			7.98	1.1		2	5.6	48.89	8.1				
1/17	100	3.5		2.1	4.26	N.D.	304		36.80		0						2	5.4	48.15	7.8				
1/18	100	3.5		2.1	3.61	N.D.	88		29.24		1						0					0.0		
1/19	100	3.5		2.1							1						1	2.8	44.82	4.2				
1/20	100	3.5		2.1							1						3	8.3	49.66	11.9				
1/21	100	3.5		2.1	4.19	N.D.	134		29.04		4						3	8.0	47.82	11.6				
1/22	100	3.5		2.1	3.65	N.D.	108		34.44		4						3	8.3	47.27	12.1				
1/23	100	3.5		2.1	4.28	N.D.	117		29.00		3						3	7.8	48.14	11.3				
1/24	100	3.5		2.1	3.78	N.D.	87		30.24		3						3	8.3	49.78	11.9				
1/25	100	3.5		2.1	3.39	N.D.	67		41.04		4						3	8.5	48.98	12.2				
1/26	100	3.5		2.1							0						3	8.2	50.58	11.7				
1/27	100	3.5		2.1							1						3	8.9	45.40	13.2				
1/28	90	3.5		2.3	3.52	N.D.	251		22.90		5						3	8.8	46.06	13.0				
1/29	90	3.5		2.3	3.50	N.D.	121				3						3	8.1	45.93	12.0				
1/30		3.5									0						0					0.0		
1/31	50	3.5		4.1							1						0					0.0		

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO ₃										Regulación de pH										Filtración		Torta	
	Tratam. m ³ /día	pH	CaCO3 g/L	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada					Sedimento t/día	Tratam. m ³ /día	Cal g/L	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada					Sedimento t/día	Frec. ciclo/día	Vol. Torta m ³ /día	Hum.	Cant.	
					pH	Fe ²⁺ mg/L	Fe-T mg/L	Cu mg/L	Pptado. g/L					pH	Fe-T mg/L	Mn mg/L	Mg mg/L	Pptado. g/L						
2/1	100	3.5		2.1	3.17	N.D.	543		40.48		1			7.9	0.4		27.00		2	5.7	45.07	8.5		
2/2	100	3.5		2.1						3									2	5.8	41.89	8.9		
2/3	100	3.5		2.1						1									1	2.7	32.75	4.5		
2/4	90	3.5		2.3	3.09	N.D.	246		53.00		1								1	2.8	44.83	4.2		
2/5	100	3.5		2.1	3.97	N.D.	142		55.76		3			7.62	N.D.				2	5.5	46.54	8.1		
2/6	100	3.5		2.1	3.40	N.D.	500		31.56		2			7.73	N.D.		12.00		2	5.4	47.34	7.9		
2/7	100	3.5		2.1	3.52	N.D.	162		25.08		4								3	8.1	49.70	11.6		
2/8	100	3.5		2.1	4.43	N.D.	196		72.48		3								2	5.2	48.94	7.5		
2/9	100	3.5		2.1							1								2	5.6	47.18	8.2		
2/10	100	3.5		2.1							1								2	5.9	46.00	8.7		
2/11	100	3.5		2.1	3.56	N.D.	341		63.04		1								1	3.0	45.62	4.5		
2/12	100	3.5		2.1	3.45	N.D.	558		67.20		3								3	8.8	46.13	13.0		
2/13	100	3.5		2.1	3.79	N.D.	357		102.00		2								3	9.9	45.94	14.7		
2/14	100	3.5		2.1	3.98	N.D.	243		80.20		1								3	8.1	46.19	12.0		
2/15	100	3.5		2.1	3.48	N.D.	352				2								3	8.5	45.38	12.6		
2/16	100	3.5		2.1							3								2	5.8	44.53	8.7		
2/17	100	3.5		2.1							2								3	9.2	51.32	13.0		
2/18	80	3.5		2.6	3.87	N.D.	300		51.00		2								1	2.9	60.89	3.8		
2/19	50	3.5		4.1							0								0	0.0		0.0		
2/20	60	3.5		3.4	3.74	N.D.	743		75.00		0			7.71			27.00		2	5.9	45.03	8.8		
2/21	70	3.5		2.9	3.80	N.D.	114		114.00		0								3	8.8	48.45	12.7		
2/22	90	3.5		2.3	4.02	N.D.	527		120.00		2								3	8.4	48.91	12.1		
2/23	90	3.5		2.3							3								3	8.9	50.41	12.7		
2/24	90	3.5		2.3							3								3	8.5	52.41	11.9		
2/25	90	3.5		2.3	4.48	N.D.	59		60.96		1								2	5.9	48.66	8.5		
2/26	90	3.5		2.3	3.63	N.D.	114		60.00		1								2	5.8	48.16	8.4		
2/27	0										0								0	0.0		0.0		
2/28	70	3.5		2.9							1								1	2.5	46.91	3.7		

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO3										Regulación de pH										Filtración		Torta																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Tratam.	pH	CaCO3	Tiemp. Neut.	Calidad Solución Neutralizada					Sedimento	Tratam.	Cal	Tiemp. Neut.	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento	Frec.	Vol. Torta	Hum.	Cant.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu	Pptado.					g/L	mg/L	Mg	Mn						g/L	Pptado.	t/día	mg/L	mg/L	g/L	t/día	m ³ /día	%	t/día																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	m ³ /día		g/L	h		mg/L	mg/L	mg/L	g/L	u/día	m ³ /día	g/L	h		mg/L	mg/L	mg/L	g/L	g/L	h																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		</

Cuadro Anexo 4-3 Resultados en los Circuitos de Neutralización

Fecha	Neutralización con CaCO3										Regulación de pH										Filtración		Torta	
	Tratam. m³/día	pH	CaCO3 g/L	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Tratam. m³/día	Cal g/L	Tiemp. Neut. h	Calidad Solución Neutralizada				Sedimento t/día	Frec. ciclo/día	Vol. Torta m³/día	Hum. %	Cant. t/día			
					pH	Fe²⁺ mg/L	Fe-T mg/L	Cu mg/L					Pptado. g/L	pH	Fe-T mg/L	Mn mg/L						Mg mg/L	Pptado. g/L	
4/1	100	3.5		2.1	2.59		305			43.08							1	2.5	50.37	3.6				
4/2	100	3.5		2.1	3.83		111			22.40							2	5.9	49.85	8.4				
4/3	100	3.5		2.1	4.18		60			25.16							2	5.8	48.76	8.4				
4/4	100	3.5		2.1	3.95	111	3225						0.1				2	5.1	51.67	7.2				
4/5	80	3.5		2.6													0	0.0						
4/6	80	3.5		2.6													1	2.6	30.43	4.5				
4/7	90	3.5		2.3													0	0.0						
4/8	90	3.5		2.3		55	83			62.48							1	2.8	47.34	4.1				
4/9	90	3.5		2.3		55	2816			55.76							3	8.6	50.22	12.3				
4/10	110	3.5		1.9	4.91	55	59			48.80							2	5.6	49.37	8.0				
4/11	120	3.5		1.7	3.66	55	96			59.88							3	8.2	48.62	11.9				
4/12	120	3.5		1.7	4.39	55	58			79.52							4	10.7	49.49	15.4				
4/13	120	3.5		1.7													4	10.7	48.76	15.4				
4/14	120	3.5		1.7													2	5.4	46.88	7.9				
4/15	120	3.5		1.7	2.84	55	437			32.84							1	2.8	47.75	4.1				
4/16	120	3.5		1.7	3.25	55	160			78.64							6	15.2	47.15	22.3				
4/17	120	3.5		1.7	3.45	55	63			55.04							4	10.1	45.92	15.0				
4/18	120	3.5		1.7	3.40	55	55			75.08							4	10.7	46.10	15.8				
4/19	120	3.5		1.7	3.24	55	55			31.76							4	11.1	47.07	16.3				
4/20	120	3.5		1.7													2	4.1	51.88	5.8				
4/21	120	3.5		1.7													4	10.5	50.59	14.9				
4/22	120	3.5		1.7	3.97	1660	1712			54.12			7.75	3.0			3	8.0	51.61	11.3				
4/23	120	3.5		1.7	2.42	1715	10146			15.44							2	5.3	51.50	7.5				
4/24	120	3.5		1.7													3	8.1	55.95	11.0				
4/25	130	3.5		1.6	3.93	111	370			52.68							2	5.3	34.66	8.7				
4/26	130	3.5		1.6	3.85	55	96			34.36			7.51	0.6			1	3.0	41.04	4.6				
4/27	140	3.5		1.5													4	11.0	49.43	15.8				
4/28	140	3.5		1.5													3	8.2	48.51	11.9				
4/29	140	3.5		1.5	3.75	333	368			21.60							2	5.1	48.76	7.4				
4/30	140	3.5		1.5	3.66	111	220			30.64							3	8.0	51.93	11.2				

Cuadro Anexo 4-4 Resultados de Análisis Periódico

Fecha	Item	pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu	Mn	Zn	Al	Cd	Pb	As	Mg
			g/L	g/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
'01 9/6	Solución de Descarte	3.49	12.31	24	81	305	162	1966				3080
	Solución Oxidada											
	Neutralización CaCO ₃											
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'01 9/12	Solución de Descarte	3.67	11.75	16.15	56	251	106	2240	0.83	0.80		2696
	Solución Oxidada	2.66	5.5	10.75	124	302	127	2734	1.08	0.40		2927
	Neutralización CaCO ₃	2.78	5.1	10.2	117	301	125	2697	1.06	0.17		2909
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'01 9/20	Solución de Descarte	3.29	20.418	28.8	253	704	298	3174	2.90	0.96		3807
	Solución Oxidada	2.45	0.084	19.46	135	656	273	2975	3.00	0.10		3824
	Neutralización CaCO ₃	3.76	N.D.	2.293	92	750	267	1831	2.70	0.02		139800
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'01 9/26	Solución de Descarte	2.88	12.87	7.9	111	377	185	2557	1.69	N.D.		
	Solución Oxidada	2.21	0.028	8.5	97	432	202	2824	2.04	-		
	Neutralización CaCO ₃	3.22	N.D.	0.4	84	480	186	2212	2.20	-		
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'01 10/4	Solución de Descarte		10.62	16.95	28	321	122	1580	1.40	0.22	9.7	
	Solución Oxidada	2.19	0.028	14.92	145	520	337	2706	1.60	0.03	7.7	
	Neutralización CaCO ₃	3.24	N.D.	0.4	122	503	250	2240	1.60	0.04	0.3	
	Neutralización Cal	8.65	N.D.	0.001	N.D.	23	1.2	2	0.47	0.06	0.02	
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'01 10/10	Solución de Descarte	3.61	21.82	21.9	152	699	269	3310	1.66	0.90	27.3	
	Solución Oxidada	2.25	0.028	12.5	68	507	179	3198	1.68	0.01	15.7	
	Neutralización CaCO ₃	2.55	0.028	4.3	63	463	176	2895	1.68	0.03	10.6	
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'01 10/16	Solución de Descarte	3.02	19.58	35.3	81	517	175	4949	1.19	0.43	20.8	
	Solución Oxidada	2.26	0.028	15.7	115	541	180	4497	1.11	0.02	12.9	
	Neutralización CaCO ₃	3.52	N.D.	0.83	82	572	170	2650	1.71	0.07	0.3	
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'01 10/24	Solución de Descarte	3.54	17.7	19.4	77	556	484	3580	1.73	0.79		
	Solución Oxidada	2.27	0.028	17.5	117	742	471	4169	3.41	0.02		
	Neutralización CaCO ₃	3.23	N.D.	0.398	83	656	361	2723	2.61	0.02		
	Neutralización Cal	8.17	N.D.	N.D.	N.D.	38	3.6	79	1.60	0.04		
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											

Cuadro Anexo 4-4 Resultados de Análisis Periódico

Fecha	Item	pH	Fe ²⁺	Fe-T	Cu	Mn	Zn	Al	Cd	Pb	As	Mg
			g/L	g/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
'02 3/11	Solución de Descarte	3.29	26.27	32.4	99	1310	291	5600	1.00	1.7	58	5900
	Solución Oxidada	1.91	0.001	18.3	161	1050	262	5890	1.10	1.2	36	6150
	Neutralización CaCO ₃	4.71	N.D.	0.415	4.9	732	121	16	0.80	0.7	N.D.	5250
	Neutralización Cal	8.2	N.D.	N.D.	N.D.	185	0.2	N.D.	0.09	0.6	N.D.	4050
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'02 3/22	Solución de Descarte	3.21	8.3	9.8	71	212	144	1834	1	1.2	7.9	3545
	Solución Oxidada	1.76	N.D.	7.49	75	285	157	2110	0.8	<0.1	4.2	4138
	Neutralización CaCO ₃	3.73	N.D.	0.15	56	359	127	723	0.8	<0.1	0.7	4635
	Neutralización Cal	7.53	N.D.	N.D.	<1	36	<1	4	<0.1	<0.1	10	1814
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'02 3/28	Solución de Descarte	3.44	8.85	11.23	62	314	157	1864	0.6	1.1	4	4547
	Solución Oxidada	1.95	N.D.	8.13	83	348	154	2352	1.7	4.8	0.5	4551
	Neutralización CaCO ₃	4.11	N.D.	0.26	49	404	118	480	1.8	0.1	15.2	3650
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'02 4/4	Solución de Descarte	3.47	24.9	30	129	465	357	4678	0.8	0.4	11	7789
	Solución Oxidada	2.09	0.11	7.89	54	342	177	2732	0.7	<0.1	0.7	4686
	Neutralización CaCO ₃	3.95	0.11	3.22	27	420	138	522	0.7	0.1	0.3	3647
	Neutralización Cal	8.05	N.D.	0.06	<1	123	<1	<1	<0.1	<0.1	0.3	2285
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'02 4/11	Solución de Descarte	3.07	8.3	9.64	125	285	132	1858	0.5	<0.1	9.9	3633
	Solución Oxidada	1.97	N.D.	8.93	88	335	187	2886	0.7	<0.1	0.7	5065
	Neutralización CaCO ₃	3.66	N.D.	0.1	53	402	151	943	0.7	<0.1	0.4	5373
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'02 4/18	Solución de Descarte	3.04	12.17	12.38	45	322	190	2243	0.7	<0.1	6.6	5362
	Solución Oxidada	1.98	N.D.	8.66	92	459	257	3056	1.2	<0.1	0.8	6221
	Neutralización CaCO ₃	3.4	N.D.	0.02	80	443	203	2208	1.2	0.1	1.4	5679
	Neutralización Cal											
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											
'02 4/25	Solución de Descarte	2.62	11.8	12.72	81	306	188	2318	1.2	<0.1	5.5	4383
	Solución Oxidada	2.4	0.11	9.3	119	446	247	2711	1.2	<0.1	0.5	5815
	Neutralización CaCO ₃	3.93	0.11	0.37	94	500	209	1176	1.2	<0.1	0.2	6266
	Neutralización Cal	8.5	N.D.	N.D.	<1	18	<1	<1	<0.1	<0.1	<0.1	2075
	Solución Lixivante											
	Solución Rica de Lixiviac.											



Fotografía 4-1 Frascos de Cultivo



Fotografía 4-2 Cultivo en 100L



Fotografía 4-3 Cultivo en 10m³



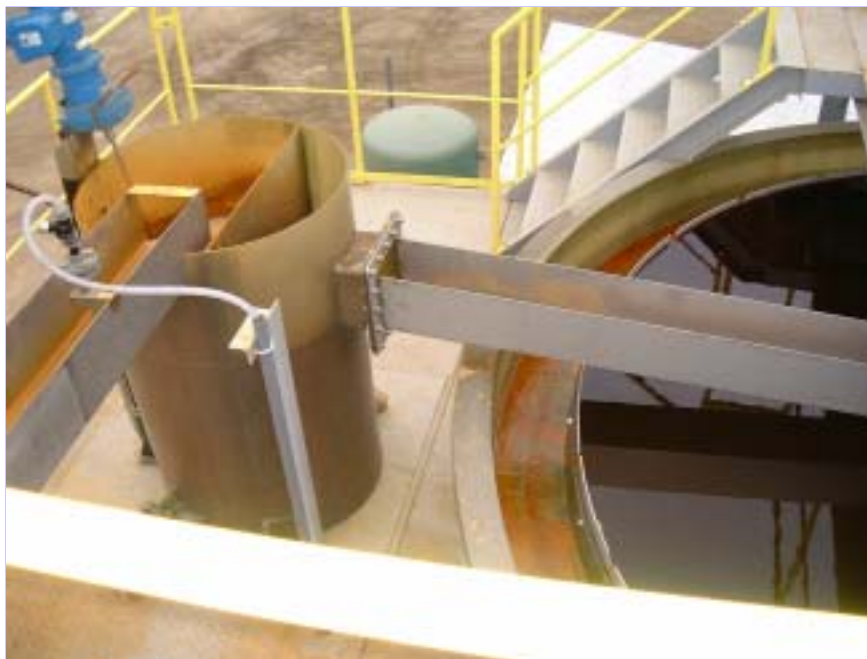
Fotografía 4-4 Cultivo en Tanque de Oxidación



Fotografía 4-5 Elaboración de Portador de Bacteria con CaCO_3



Fotografía 4-6 Operación de Prueba: Tanque de Oxidación Bacteriana



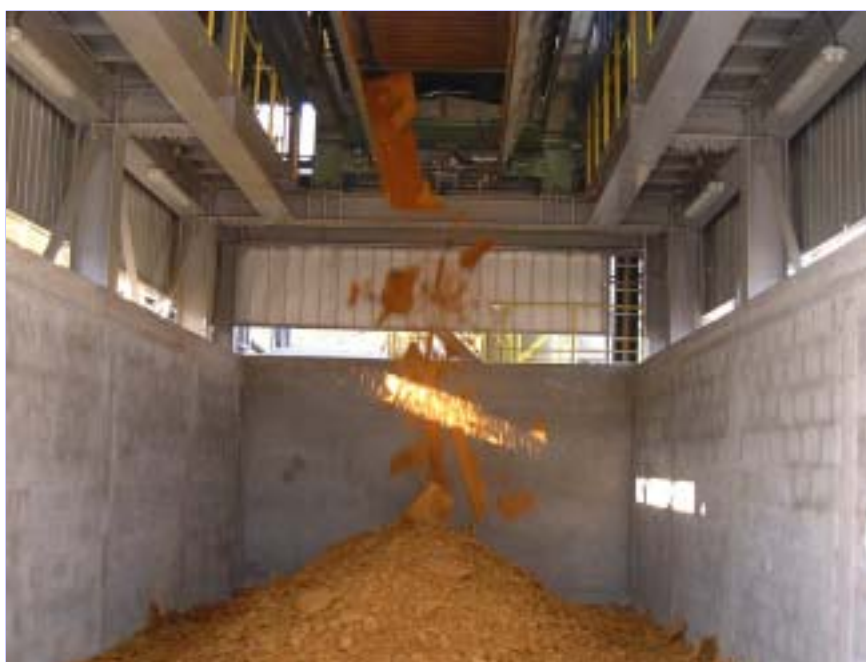
Fotografía 4-7 Operación de Prueba: Tanque de Floculación y Tanque de Recuperación de Bacteria



Fotografía 4-8 Operación de Prueba: Alimentación de CaCO_3



Fotografía 4-9 Operación de Prueba: Neutralización con CaCO_3



Fotografía 4-10 Operación de Prueba: Descarga de Torta en Filtroprensa



Fotografía 4-11 Operación de Prueba: Transporte de Torta



Fotografía 4-12 Operación de Prueba – 1) Solución Descarte, 2) Solución Oxidada Tanque A, 3) Tanque B, 4) Tanque C, 5) Solución en Tanque de Recuperación de Bacteria, 6) Solución Neutralizada con CaCO_3 , 7) Solución Neutralizada con Cal



Fotografía 4-13 Operación de Prueba – 1) Sedimento de Oxidación Bacteriana, 2) Sedimento de Neutralización con CaCO_3 , 3) Sedimento de Neutralización con Cal



Fotografía 4-14 Operación de Prueba – Torta de Filtroprensa



Fotografía 4-15 Operación de Prueba – Disposición de Torta



Fotografía 4-16 Operación de Prueba – 1) Efluente de la Planta Modelo,
2) Planta de Lixiviación, 3) Solución Rica de Lixiviación



Fotografía 4-17 Prueba de Lixiviación con Solución Tratada y Oxidada de la Planta Modelo



Fotografía 4-18 Prueba de Lixiviación con Solución Tratada y Oxidada de la Planta Modelo

5. Planeamiento de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

5. Planeamiento de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

5.1 Condiciones Previas para el Análisis de Planta a Escala

5.1.1 Capacidad de Tratamiento de la Planta a Escala

La generación de solución de descarte del proceso de lixiviación de la planta Ovalle es de $250\text{m}^3/\text{día}$ para un nivel de procesamiento de $6,000\text{t}/\text{mes}$ de mineral crudo. La capacidad de procesamiento de esta planta es de $14,000\text{t}/\text{mes}$, es decir, se generaría aproximadamente $600\text{m}^3/\text{día}$ de solución de descarte si se operara hasta este nivel. Sin embargo, debido a la caída de los precios del cobre en los últimos años (ver Figura 5-1), el abastecimiento de los minerales se ha reducido drásticamente. Razón por la cual, actualmente se procesa aproximadamente $6,000\text{t}/\text{mes}$, siendo el máximo abastecimiento estimado en $8,000\text{t}/\text{mes}$.

Por ello, el análisis de capacidad de la planta a escala se hará teniendo en cuenta estos aspectos, es decir, se analizará para 2 casos: uno para $8,000\text{t}/\text{mes}$ y otro para $14,000\text{t}/\text{mes}$ de procesamiento de minerales. En el Cuadro 5-1 se muestra los volúmenes de generación de solución de descarte para cada caso.

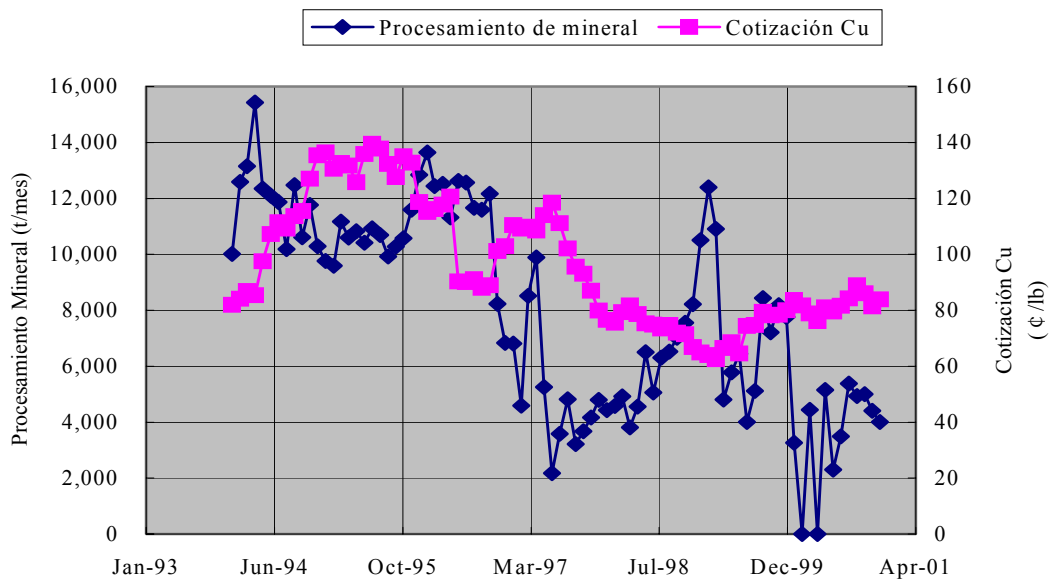


Figura 5-1 Cotización del Cobre versus Volumen de Procesamiento de Mineral

Cuadro 5-1 Volumen de Generación de Solución de Descarte por Caso

	Procesamiento de minerales	Generación de solución de descarte
Situación actual	6,000 t/mes	$250\text{ m}^3/\text{día}$
Caso 1	8,000 t/mes	$330\text{ m}^3/\text{día}$
Caso 2	14,000 t/mes	$600\text{ m}^3/\text{día}$

5.1.2 Características de la Solución de Descarte

Los datos de las concentraciones de Fe^{2+} obtenidas de las pruebas en planta modelo varían ampliamente desde un máximo de 32.93g/L a un mínimo de 7.9g/L, siendo el valor promedio de 17.02g/L (ver capítulo 4). Sin embargo, no se observaron altas concentraciones durante un tiempo prolongado, por ende, se infiere que alcanza la uniformidad durante el tiempo de residencia en los tanques de oxidación. En consecuencia, se empleará el valor promedio de 17.02g/L, como la concentración de alimentación de Fe^{2+} a la planta a escala. Asimismo, se emplearán como parámetro de diseño de la planta a escala, los resultados de las pruebas en planta modelo para los demás metales pesados como se muestra en el Cuadro 5-2.

Cuadro 5-2 Parámetros de Diseño: Características de Solución de Descarte (Unidad: g/L)

pH	Fe^{2+}	Fe-T	Cu	Mn	Zn	Al
3.3	17.02	20.66	0.108	0.507	0.208	2.77

5.1.3 Cinética de Oxidación

Se ha determinado como 1.0g/L-h, considerando los resultados de cinética de oxidación, en el tanque A de las pruebas en planta modelo, citadas en el capítulo 4.

5.1.4 Generación de Sedimentos

Se ha determinado como 8.54m³/día en volumen o 12.46tmh/día en peso para 100m³/día de tratamiento, considerando los resultados de las pruebas en planta modelo, citadas en el capítulo 4.

Asimismo, la humedad promedio es de 47.5%.

5.1.5 Flujo del Proceso de Tratamiento

De los resultados de las pruebas en planta modelo, se confirmó la factibilidad de tratar la solución de descarte mediante el proceso establecido. Asimismo, de los resultados de las pruebas de lixiviación realizadas por la contraparte chilena se obtuvo que, una proporción del 36% de solución oxidada es la adecuada para la recuperación del cobre. Es decir, las condiciones óptimas del proceso se obtienen con una neutralización parcial del ión Fe^{3+} dejando remanente parte de éstos en solución. Además, la merma de agua adherida a la torta de filtración se estima en $12.46 \times 0.475 = 5.92\text{m}^3/\text{día}$.

En otras palabras, de los 100m³/día, se emiten 5.92m³/día de efluente fuera del sistema. De este modo se infiere que, es posible prevenir la concentración de otros metales pesados dentro del sistema. En consecuencia, la planta a escala prescindirá del proceso de regulación de pH.

De lo anterior el diagrama de flujo simplificado de la planta a escala es como se muestra en la Figura 5-2.

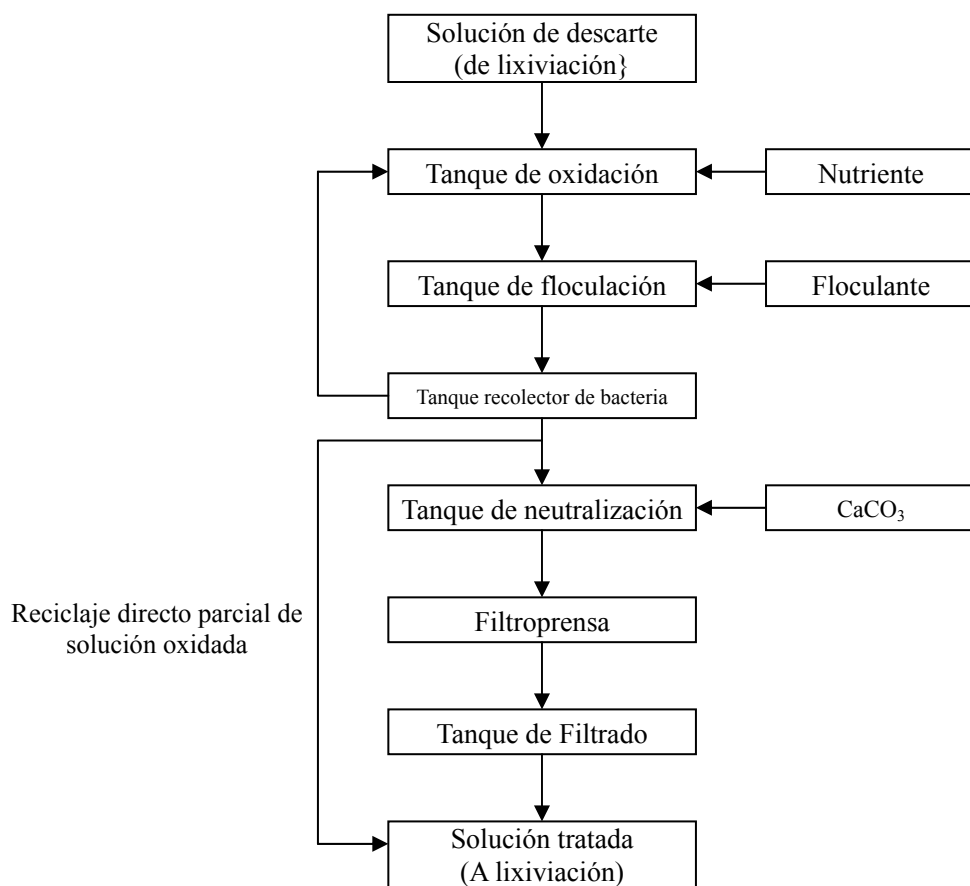


Figura 5-2 Flujo Simplificado de la Planta a Escala

5.1.6 Capacidad de Tratamiento de la Planta Modelo

Los parámetros de diseño para la planta modelo fueron los valores que se muestran en el Cuadro 5-3, sin embargo, la concentración de Fe^{2+} actualmente ha resultado ser casi la mitad de lo esperado, siendo solamente de 17.02g/L.

Cuadro 5-3 Parámetros de Diseño de Planta Modelo: Características de Solución de Descarte (Unidad: g/L)

pH	Fe^{2+}	Fe-T	Cu	Mn	Zn	Al
3.7	30	30	0.26	0.97	0.24	9.7

Asimismo, la generación de la torta de filtración ha resultado ser menos de la mitad estimada para la planta modelo, siendo el total generado entre los lodos de bacteria excedentes y los precipitados de neutralización y regulación de pH, de 12.46tmh/día del 31.5tmh/día original. En consecuencia, la capacidad de procesamiento de los circuitos de oxidación y filtración ha resultado mayor que el 100m³/día estimado. Es decir, la capacidad de la planta modelo podría ser ampliada más allá de los 100m³/día, valor de diseño, mediante ampliaciones relativamente

simples.

A continuación se estima la capacidad de tratamiento de acuerdo a las condiciones actuales de la solución de descarte y capacidad de procesamiento de los circuitos de oxidación y filtración.

(1) Capacidad de Procesamiento del Circuito de Oxidación

La capacidad volumétrica del circuito de oxidación es de 172m^3 . Descontando el volumen requerido por el suministro de aire se obtiene $172/1.1 = 156.4\text{m}^3$. Descontando de éste el volumen de reciclaje de lodos de bacteria se tiene $156.4 \times 4/5 = 125\text{m}^3$, que corresponde al volumen de solución de descarte. Siendo la concentración de Fe^{2+} 17.02g/L y la cinética de oxidación 1.0g/L-h , se obtiene la capacidad de tratamiento: $125 \div 17.02 / 1 = 7.35\text{m}^3/\text{h} = \underline{176\text{m}^3/\text{día}}$.

(2) Capacidad de Procesamiento del Filtroprensa

Actualmente el filtroprensa procesa los sedimentos origiandos en los procesos de neutralización y regulación de pH en un lapso de 2 horas. Los detalles se muestran en el siguiente cuadro.

Alimentación forzada	60 min
Extrusión	20 min
Apertura de marcos, etc.	40 min
Total	120 min

La concentración de sólidos alimentados al filtroprensa ha disminuido debido a la reducción de generación de sedimentos, aumentando la velocidad de filtración; sin embargo, debido a que el requerimiento de líquido para cada ciclo de filtración ha aumentado, el tiempo del proceso se mantendría sin modificaciones siendo de 60 minutos. En cuanto al tiempo de extrusión, a pesar de que se obtiene una buena filtración al cabo de 10 minutos debido a las buenas condiciones de operación, el requerimiento de cada tipo de soplado será también de 10 minutos. El tiempo de apertura de marcos y operaciones conexas no será modificado, ya que está fijado mecánicamente. En consecuencia, el ciclo de operación del filtroprensa será de 110 minutos. Asimismo, se requerirá de un ciclo de lavado del medio filtrante una vez al día con la finalidad de prevenir las obturaciones. Para ello se requerirá 40min/día , siendo la frecuencia de filtración diaria de: $\{(24 \times 60) - 40\} / 110 = 12.7$ ciclos.

Actualmente, se generan $8.54\text{m}^3/\text{día}$ de torta al tratar $100\text{m}^3/\text{día}$ de solución de descarte. La capacidad de filtración es de $3.677\text{m}^3/\text{ciclo}$ cuando el espesor de la torta es de 40mm . Sin embargo, por el efecto de la extrusión, el espesor de torta se reduce aproximadamente a 35mm , y la capacidad de filtración en $3.2\text{m}^3/\text{ciclo}$. En consecuencia, la frecuencia diaria de filtración es de: $8.54/3.2 = 2.7$ ciclos. De ello se obtiene que la capacidad de procesamiento del filtroprensa es: $100/2.7 \times 12 = \underline{444\text{m}^3/\text{día}}$.

Del resultado anterior se infiere que la capacidad del circuito de oxidación fija la capacidad de tratamiento de la planta modelo, siendo de 176m³/día.

Se analizó en detalle la capacidad de los demás equipos, cuyo resultado se muestra en el Cuadro 5-4. Las partes que requieren ampliación son las que se muestran coloreadas.

Cuadro 5-4 Modificaciones en Planta Modelo

No.	Denominación	Planta Modelo Existente			Planta Modelo Adaptada	
		Especificaciones	Potencia (KW)	Unid.	Especificaciones	
	(Proceso de Oxidación)					
T1	Tanque receptor solución de descarte	Tipo: cilíndrico Capacidad: 5m³ Material: PE		1	Sin modificación: Compatible para 176m³/día de solución de descarte, ya que posee capacidad retención de 40min.	
P1	Bomba de solución de descarte	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 84L/min×20mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	1.5	1	Requiere modificación: Adaptación para capacidad de 176m³/día. En consecuencia: 123L/min×20mH×2.2kw Asimismo, requiere adaptación de tubería y flujómetro.	
T2	Tanque de oxidación	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 57.3 m³ Material: FRP Dimens.: 3750 ϕ×5900H		3	Sin modificación: Ver texto del análisis respectivo	
T3	Tanque de floculación	Tipo: cilíndrico Capacidad: 0.43 m³ Material: FRP Dimens.: 800ϕ×1300H		1	Sin modificación: Compatible para 176m³/día de solución de descarte, ya que posee capacidad retención de 3.5min.	
M1	Agitador para tanque de floculación	Tipo: impulsor de hélice Material: superficie contacto: SUS316 Uso: floculación	0.2	1	Sin modificación	
T4	Colector de bacteria	Tipo: cilíndrico Dimens.: 3300 ϕ×2500H Material: FRP Accesorio: rastra	0.75	1	Sin modificación: Compatible para 176m³/día de solución de descarte, ya que la cinética de sedimentación es de 0.86m/H.	
B1	Soplador de oxidación	Tipo: soplador roots (aire forzada) Capacidad: 14.85 m³/min×7000mmAq Material: FC, etc.	30 0.2	1	Sin modificación: El suministro de aire se realiza transversalmente al tanque de oxidación. En consecuencia, no requiere modificación.	
T5	Tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 1.8 m³ Material: FRP Dimens.: 1300 ϕ×1650H		1	Sin modificación: Para un flujo de solución de descarte de 176m³/día, el flujo de recirculación de bacteria es de 44m³/day=31L/min. En consecuencia, es compatible ya que cuenta con capacidad de retención de 58min.	
M2	Agitador para tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS316 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	1.5	1	Sin modificación	

No.	Denominación	Planta Modelo Existente			Planta Modelo Adaptada	
		Especificaciones	Potencia (KW)	Unid.	Especificaciones	
P2	Bomba de recirculación de bacteria	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 50L/min×20mH Material: superficie contacto: FC+R/L	1.5	1	Sin modificación	
DF1	Micro-difusor para tanque de oxidación	Tipo: actuador eléctrico Carrera: 60mm Material: PVC	0.08	1	Sin modificación	
P3	Bomba de alimentación de bacteria	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 1200L/min×40mH Material: superficie contacto: FC+R/L	22	1	Sin modificación	
T6	Tanque de disolución de Nutriente	Tipo: cilíndrico Capacidad: 0.5 m³ Material: FRP Dimens.: 860ϕ×1150H		1	Sin modificación: Se adaptará la actual frecuencia de operación de 1ciclo/día.	
M3	Agitador para tanque de disolución de nutriente	Tipo: impulsor de hélice Material: superficie contacto: SUS316 Uso: disolución de reactivo	0.2	1	Sin modificación	
T7	Tanque de almacenamiento de nutriente	Tipo: cilíndrico Capacidad: 0.75 m³ Material: FRP Dimens.: 980ϕ×1250H		1	Sin modificación	
P4	Bomba de alimentación de nutriente	Tipo: bomba de diafragma de flujo constante Capacidad: 450mL/min Material: superficie contacto: PVC,PTFE	0.2	1	Sin modificación: El déficit (para alcanzar el requerimiento de 600mL/min) de la bomba de alimentación será cubierta con el uso en serie de la bomba de alimentación de ácido sulfúrico que se encuentra actualmente en desuso.	
T8	Tanque de disolución de floculante	Tipo: cilíndrico Capacidad: 0.62 m³ Material: FRP Dimens.: 920ϕ×1200H		1	Sin modificación: Adaptación modificando la frecuencia actual de 1ciclo/día.	
M4	Agitador para tanque de disolución de floculante	Tipo: impulsor de hélice Material: superficie contacto: SUS304 Uso: disolución de reactivo	0.2	1	Sin modificación	
T9	Tanque de almacenamiento de floculante	Tipo: cilíndrico Capacidad: 0.93 m³ Material: FRP Dimens.: 1050ϕ×1350H		1	Sin modificación	
P5	Bomba de alimentación de floculante	Tipo: bomba de diafragma de flujo constante Capacidad: 850mL/min Material: superficie contacto: PVC,PTFE	0.2	1	Sin modificación: La capacidad actual es suficiente para la alimentación de 762mL/min	

No.	Denominación	Planta Modelo Existente			Planta Modelo Adaptada	
		Especificaciones	Potencia (KW)	Unid.	Especificaciones	
T10	Tanque de almacenamiento ácido sulfúrico	Tipo: cilíndrico Capacidad: 0.5 m ³ Material: FRP Dimens.: 860 ϕ × 1150H		1	En desuso	
M5	Agitador para tanque de almacenamiento ácido sulfúrico	Tipo: impulsor de hélice Material: superficie contacto: SS+R/L Uso: dilución de reactivo	0.2	1	En desuso	
P6	Bomba de alimentación de ácido sulfúrico	Tipo: bomba de diafragma de flujo constante Capacidad: 500mL/min Material: superficie contacto: PVC,PTFE	0.2	1	Será trasladado para su adaptación como bomba de alimentación de nutriente.	
	(Proceso de Neutralización)					
T11	Tanque de neutralización	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 9.5 m ³ Material: FRP Dimens.: 1650 ϕ × 5150H		1	Sin modificación: Compatible a pesar que la capacidad de retención será de 78min, debido principalmente a la disminución de concentración de metales pesados.	
F1	Alimentador de neutralizante	Tipo: alimentador sinfin (4 tolvas) Capacidad: 825kg/h Material: SS Accesorio: aire comprimido, filtro de saco	1.5 0.75	1	Sin modificación: Compatible debido a la disminución de consumo siendo su valor máximo registrado de 3.5t/día.	
T12	Tanque emulsionante de neutralizante	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 0.82 m ³ Material: FRP Dimens.: 900 ϕ × 1600H		1	Sin modificación	
M6	Agitador para tanque emulsionante de neutralizante	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS304 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	0.4	1	Sin modificación	
P7	Bomba de neutralizante	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 50L/min×20mH Material: superficie contacto: FC+R/L	3.7	1	Sin modificación	
DF2	Micro-difusor para tanque de neutralización	Tipo: actuador eléctrico Carrera: 60mm Material: PVC	0.08	1	Sin modificación	
B2	Soplador de neutralización	Tipo: soplador roots Capacidad: 1.0 m ³ /min×6000mmAq Material: FC, etc.	3.7	1	Sin modificación: El suministro de aire se realiza transversalmente al tanque de neutralización. En consecuencia, no requiere modificación.	

No.	Denominación	Planta Modelo Existente			Planta Modelo Adaptada	
		Especificaciones	Potencia (KW)	Unid.	Especificaciones	
T13	Tanque de alimentación a filtroprensa	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 17.3 m³ Material: FRP Dimens.: 2800 ϕ ×3400H		1	Sin modificación: La frecuencia de operación para un flujo de 176m³/día será de 5ciclos/día. En consecuencia, cada ciclo operará con 35m³ distribuido en 2 ciclos.	
M7	Agitador para tanque de alimentación a filtroprensa	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS316 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	15	1	Sin modificación	
P8	Bomba de alimentación de sedimentos neutralizados	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 1200L/min×40mH Material: superficie contacto: FC+R/L	22	1	Sin modificación	
FP1	Filtroprensa	Tipo: automática Capacidad: área de filtración: 203 m² Material: marco y placa: PP, lecho: FC+R/L, etc. bandeja de goteo: SUS316	5.5	1	Sin modificación: Ver texto del análisis respectivo.	
CP1	Compresor para soplador	Tipo: recíprocante (sin aceite) Capacidad: 1230L/min	11.0	1	Sin modificación	
RT1	Tanque receptor de aire comprimido	Tipo: cilíndrico Capacidad: 3000L Accesorio: válvulas seguridad, manual, manómetro		1	Sin modificación	
p9	Bomba de lavado de medio filtrante	Tipo: bomba centrífuga multifase Capacidad: 140L/min×200mH Material: SUS304,SCS13, etc.	15.0	1	Sin modificación	
T14	Tanque de solución filtrada	Tipo: cilíndrico Capacidad: 8 m³ Material: PE		1	Sin modificación	
P10	Bomba de descarga de neutralización	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 100L/min×20mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	2.2	1	Requiere modificación: Se requiere una capacidad de 1200L/min, debido al déficit de capacidad del tanque de solución filtrada por la descarga de 32m³ en filtroprensa. Asimismo, deberá cumplir la función de enviar directamente la solución tratada al circuito de lixiviación, debido al desuso del circuito de regulación de pH. En consecuencia: 1200L/min×45mH × 2.2kw Asimismo, requiere adaptación de tubería.	
T15	Tanque de almacenamiento de agua post-lavado	Tipo: cilíndrico Capacidad: 3 m³ Material: PE		1	Sin modificación	
P11	Bomba de recirculación de agua post-lavado	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 15L/min×27mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	1.5	1	Sin modificación	

No.	Denominación	Planta Modelo Existente			Planta Modelo Adaptada	
		Especificaciones	Potencia (KW)	Unid.	Especificaciones	
T20	Tanque de agua de lavado	Tipo: cilíndrico Capacidad: 3 m ³ Material: PE		1	Sin modificación	
	(Proceso de Regulación de pH)				La planta a escala prescindirá del circuito de regulación de pH.	
	Servicio Complementario					
P15	Unidad de suministro de agua	Tipo: Con tanque receptor y unidad de suministro automático Capacidad: 1.1 m ³ Material: Tanque: FRP; bomba: SUS304	0.4	1	Sin modificación	
CP2	Compresor para instrumentación	Tipo: recíprocante (sin aceite) Capacidad: 45L/min×7kg/cm ²	0.4	1	Sin modificación	

5.1.7 Capacidad Requerida de las Instalaciones

Del análisis del acápite 5.1.6 es posible aumentar la capacidad de tratamiento a 176m³/día con modificaciones simples a la planta modelo. En consecuencia, la capacidad adicional complementaria se obtiene de la diferencia con respecto a la capacidad requerida en cada caso, resultando lo descrito en el siguiente cuadro.

Caso 1: procesamiento de minerales: 8,000t/mes (en función a la máxima capacidad de abastecimiento de mineral)	154 m ³ /día
Caso 2: procesamiento de minerales: 14,000t/mes (en función a la capacidad instalada de la planta de procesamiento de minerales)	424 m ³ /día

En el siguiente acápite se presenta el diseño conceptual para cada caso.

5.2 Diseño Conceptual de la Planta a Escala

Caso1 (procesamiento de minerales: 8,000t/mes (en función a la máxima capacidad de abastecimiento de mineral)

Como se muestra en el acápite 5.1.7, el caso 1 requiere el complemento de capacidad de $154\text{m}^3/\text{día}$ (capacidad de tratamiento total: $330\text{m}^3/\text{día}$), y por otro lado, que la capacidad del filtro prensa se abastece sin necesidad de modificación; por ende es suficiente una ampliación adyacente a la actual planta modelo, logrando economía y facilidad de operación. En consecuencia, se analizó una modificación de la planta modelo existente sin recurrir a una nueva construcción.

(1) Análisis de Capacidad de los Equipos

El análisis de capacidad requerida se realizó en función a los resultados de las pruebas en planta modelo citadas en el capítulo 4.

1) Circuito de oxidación

La capacidad requerida en el circuito de oxidación se obtiene considerando un 25% de reciclaje de lodos de bacteria y un 10% para el suministro de aire. De ello, se obtiene: $330/24 \times 17.02 \times 1.25 \times 1.1 = 322\text{m}^3$.

El circuito de oxidación de la planta modelo cuenta con 172m^3 . Es decir, la ampliación de este circuito será instalar un tanque de oxidación adicional de 150m^3 de capacidad.

2) Sopladores de oxidación

Se requerirá instalar un soplador para insular aire al tanque de oxidación adicional.

3) Tanque de reciclaje de bacterias

El diámetro del tanque de reciclaje de bacterias de la planta modelo es de 3.3m. Al tratar $330\text{m}^3/\text{día}$ de solución de descarte en este tanque, se obtendrá una velocidad de decantación de 1.6m/h. A pesar que el objeto no es clarificar, sino de recuperar los lodos de bacteria; como medida de seguridad operacional, se fijó una velocidad de decantación de 1m/h para el tanque adicional.

4) Tanque de neutralización

La capacidad del tanque de neutralización de la planta modelo es de 9.5m^3 . En estas condiciones el tiempo de residencia sería aproximadamente de 41 minutos, siendo ligeramente insuficiente. La neutralización con carbonato de calcio requerirá un tiempo de residencia de 60 minutos. Al fijarse los valores del incremento de sedimentos de carbonato y 10% el volumen de aire de agitación, se tiene: $330/24 \times 1.05 \times 1.1 = 15.9\text{m}^3$.

En consecuencia, se requerirá un tanque adicional de 6.4m^3 . Asimismo, requerirá un soplador adicional para la neutralización en este tanque.

5) Filtroprensa

Como se obtuvo en el acápite 5.1.6 (2), la capacidad del filtroprensa se abastece para tratar $444\text{m}^3/\text{día}$ de solución de descarte, de modo que no es necesario su modificación.

6) Almacenamiento y sistema de alimentación de carbonato de calcio

El consumo máximo de carbonato de calcio en las pruebas en planta modelo fue de $19.7\text{g/L} = 19.7\text{kg/m}^3$. En consecuencia, para un volumen de tratamiento de $330\text{m}^3/\text{día}$, se tiene: $330 \times 19.7 = 6501\text{kg/día} = 6.5\text{t/día}$.

La planta modelo cuenta con un sistema de alimentación de cal apagada; no obstante, la planta a escala prescindirá de éste. Por ende, éste sería utilizado para la ampliación del sistema de almacenamiento y alimentación de carbonato de calcio.

En el Cuadro 5-5 se muestra los equipos complementarios para la ampliación. (Los equipos que requieren ampliación están denotados con la letra “N” en su respectiva numeración.)

Cuadro 5-5 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 1

No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
	(Proceso de Oxidación)	Tipo: cilíndrico			
P1	Bomba de solución de descarte	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: $230\text{L}/\text{min} \times 20\text{mH}$ Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	2.2	1	Modificación del equipo instalado en planta modelo.
T2-N	Tanque de oxidación	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 75 m^3 Material: FRP Dimens.: $4290\phi \times 5900\text{H}$		2	
T4-N	Colector de bacteria	Tipo: cilíndrico Dimens.: $2600\phi \times 2500\text{H}$ Material: FRP Accesorio: rastra	0.75	1	
B1-N	Soplador de oxidación	Tipo: soplador roots (aire forzada) Capacidad: $12.95\text{ m}^3/\text{min} \times 7000\text{mmAq}$ Material: FC, etc.	30 0.2	1	
T5-N	Tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 1.8 m^3 Material: FRP Dimens.: $1300\phi \times 1650\text{H}$		1	
M2-N	Agitador para tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS316 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	1.5	1	

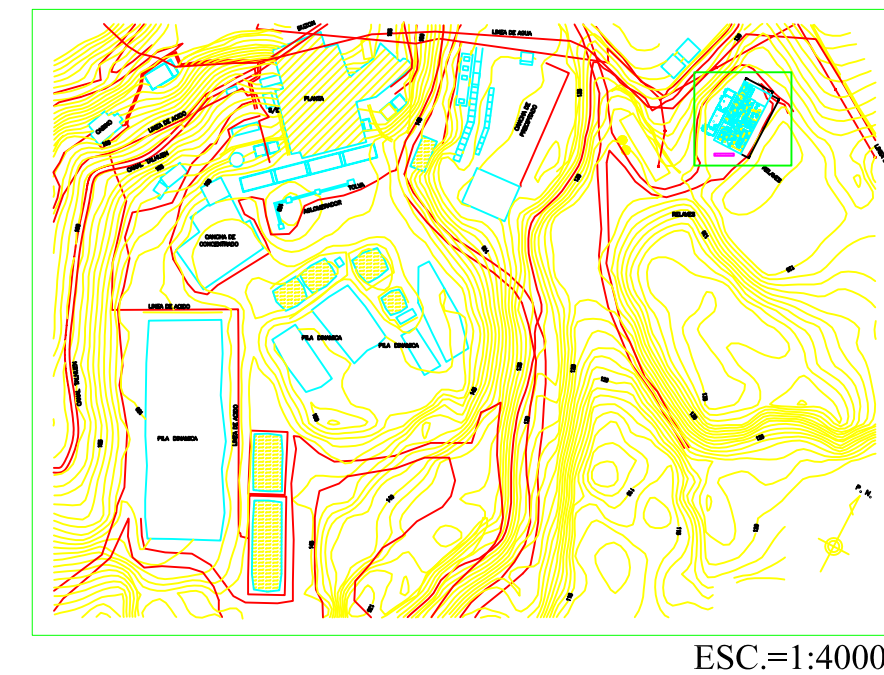
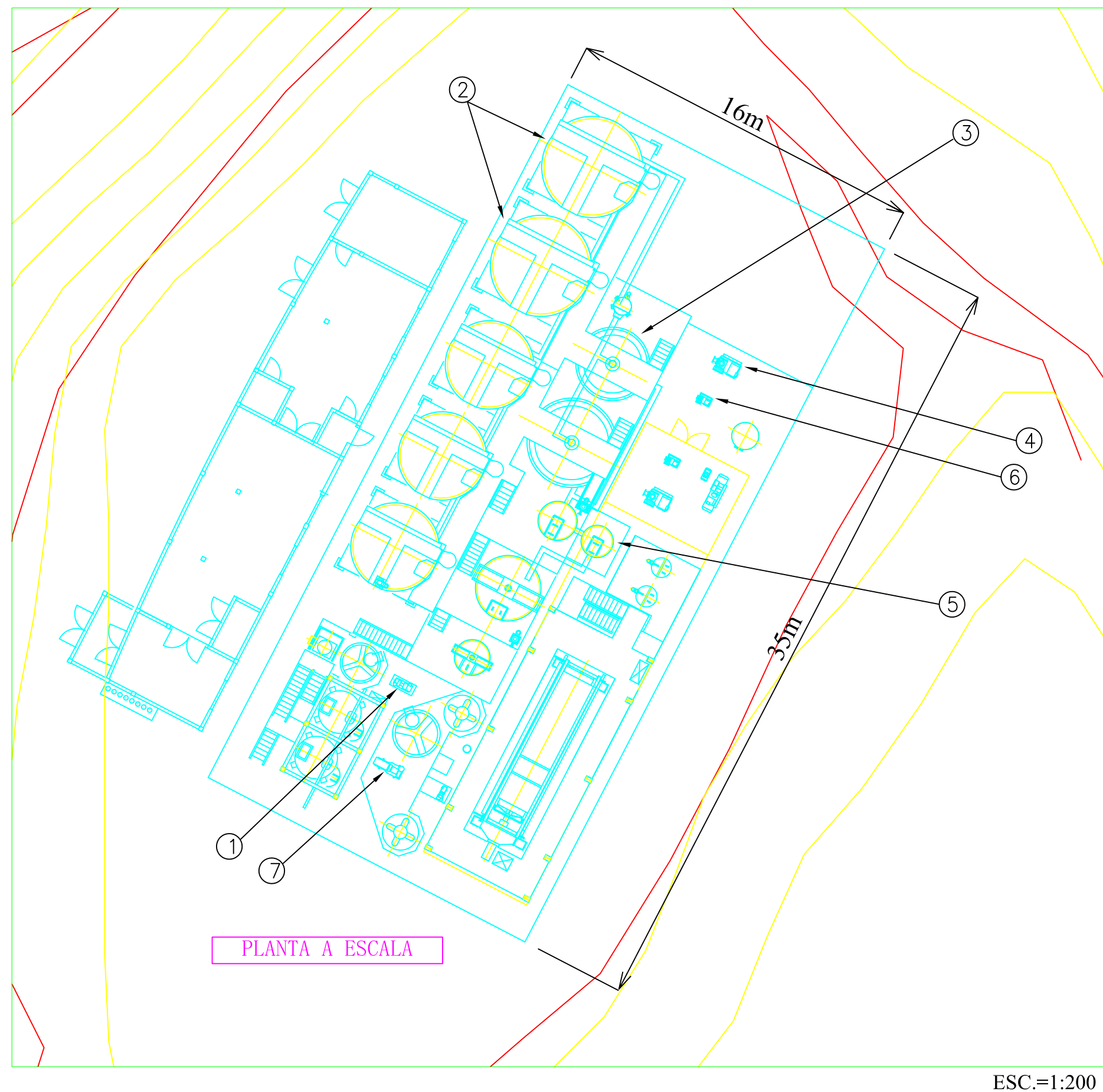
No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
P3-N	Bomba de alimentación de bacteria	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 300L/min×40mH Material: superficie contacto: FC+R/L	11	1	Adaptación de la bomba del circuito de regulación de pH de la planta modelo.
	(Proceso de Neutralización)				
T11-N	Tanque de neutralización	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 6.4 m ³ Material: FRP Dimens.: 1350φ×5150H		1	
B2-N	Soplador de neutralización	Tipo: soplador roots Capacidad: 0.67 m ³ /min×6000mmAq Material: FC, etc.	3.7	1	
P10	Bomba de descarga de neutralización	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 1200L/min×45mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	22	1	

(2) Flujo del Proceso

En la Figura 5-3 adjunta se muestra el flujo del proceso incluyendo a la planta modelo.

(3) Plan de Distribución en Planta

En la Figura 5-4 adjunta se muestra el plan de distribución en planta simplificado incluyendo a la planta modelo.



1	P 1	Bomba de Solución de Descarte (Modificación)
2	T 2 - N	Estanques de Oxidación (Nueva)
3	T 4 - N	Espesador Recuperador de Bacterias (Nueva)
4	B 1 - N	Compresor de Oxidación (Nueva)
5	T 1 1 - N	Estanques de Neutralización (Nueva)
6	B 2 - N	Compresor de Neutralización (Nueva)
7	P 1 0	Bomba de Transporte Post Neutralización (Modificación)

Figura 5-4 Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 1)

5.2.2 Caso 2: procesamiento de minerales: 14,000t/mes (en función a la capacidad instalada de la planta de procesamiento de minerales)

Como se muestra en el acápite 5.1.7, el caso 2 requiere el complemento de capacidad de $424\text{m}^3/\text{día}$ (capacidad de tratamiento total: $600\text{m}^3/\text{día}$), y por otro lado, se requiere adicionar un filtro prensa y ampliación del circuito de oxidación; por ende consiste de una ampliación mayor que una extensión de la planta modelo existente. En consecuencia, se ha analizado la construcción de la ampliación sobre un área próxima a la actual planta modelo.

(1) Análisis de Capacidad de los Equipos

El análisis de capacidad requerida se realizó en función a los resultados de las pruebas en planta modelo.

1) Circuito de oxidación

La capacidad de tratamiento requerida en la nueva planta será de $424\text{m}^3/\text{día}$. El volumen requerido para la oxidación será de: $424/24 \times 17.02 \times 1.25 \times 1.1 = 413\text{m}^3$.

2) Sopladores de oxidación

La carga máxima con respecto a la sección del tanque de oxidación será de $0.45\text{m}^3/\text{m}^2\text{-min}$.

Fijando la profundidad efectiva del tanque de oxidación en 5m, se tiene que el área seccional es de 82.6m^2 y la correspondiente capacidad de: $82.6 \times 0.45 = 37.2\text{m}^3/\text{min}$.

3) Tanque de reciclaje de bacterias

Se establecerá la velocidad máxima de sedimentación en 1.0m/h . En consecuencia, el diámetro del tanque será de: $(424/24/0.7854)^{1/2} = 4.8\text{m } \phi$

4) Tanque de neutralización

Estableciendo el tiempo de residencia para la neutralización en 60 minutos, volúmenes de 5% para la solución neutralizante y 10% para el suministro de aire, se tiene: $424/24 \times 1.05 \times 1.1 = 20.4\text{m}^3$.

5) Filtro prensa

Como se obtuvo en el acápite 5.1.6, la capacidad del filtro prensa se abastece para tratar $444\text{m}^3/\text{día}$ de solución de descarte; por ende, bastará con otra unidad similar. No obstante, con el objeto de mantener la estabilidad de las operaciones, se adicionarán tanques de alimentación a filtro prensa y de recepción del filtrado con capacidades para dos ciclos de filtración, debido a que prácticamente no existe holgura.

6) Sistema de almacenamiento y alimentación de carbonato de calcio

El máximo requerimiento de carbonato de calcio será de 19.7g/L (19.7kg/m^3). En consecuencia, el consumo diario será de: $19.7 \times 424 = 8353\text{kg/día}$.

Peso específico (máscico): $8.4\text{m}^3/\text{día}$.

La alimentación se realizará en forma de emulsión a una concentración del 20%.

En el Cuadro 5-6 se muestra los equipos de las nuevas instalaciones (caso 2) incluyendo los accesorios.

Cuadro 5-6 Lista de Equipos de Ampliación: Caso 2

No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
	(Proceso de Oxidación)				
T1	Tanque receptor solución de descarte	Tipo: cilíndrico Capacidad: 10m ³ Material: PE		1	
P1	Bomba de solución de descarte	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 294L/min×20mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	3.7	1	
T2	Tanque de oxidación	Tipo: sección rectangular (4 compartimientos) Capacidad: 413 m ³ Material: RC+FRP/L		1	
T3	Tanque de floculación	Tipo: cilíndrico Capacidad: 1.0 m ³ Material: FRP		1	
M1	Agitador para tanque de floculación	Tipo: impulsor de hélice Material: superficie contacto: SUS316 Uso: floculación	0.4	1	
T4	Colector de bacteria	Tipo: cilíndrico Dimens.: 4800φ×2500H Material: FRP Accesorio: rastra	1.5	1	
B1	Soplador de oxidación	Tipo: soplador roots (aire forzada) Capacidad: 37.2 m ³ /min×7000mmAq Material: FC, etc.	75 0.75	1	
T5	Tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 4 m ³ Material: FRP		1	
M2	Agitador para tanque de almacenamiento de bacteria	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS316 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	3.7	1	
P2	Bomba de recirculación de bacteria	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 100L/min×20mH Material: superficie contacto: FC+R/L	1.5	1	

No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
DF1	Micro-difusor para tanque de oxidación	Tipo: actuador eléctrico Carrera: 60mm Material: PVC	0.08	1	
P3	Bomba de alimentación de bacteria	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 300L/min×40mH Material: superficie contacto: FC+R/L	11	1	Adaptación de la bomba del circuito de regulación de pH de la planta modelo.
T6	Tanque de disolución de Nutriente	Tipo: cilíndrico Capacidad: 2.1 m ³ Material: FRP		1	
M3	Agitador para tanque de disolución de nutriente	Tipo: impulsor de hélice Material: superficie contacto: SUS316 Uso: disolución de reactivo	0.75	1	
T7	Tanque de almacenamiento de nutriente	Tipo: cilíndrico Capacidad: 3.2 m ³ Material: FRP		1	
P4	Bomba de alimentación de nutriente	Tipo: bomba de diafragma de flujo constante Capacidad: 2000mL/min Material: superficie contacto: PVC, PTFE	0.2	1	
T8	Tanque de disolución de floculante	Tipo: cilíndrico Capacidad: 2.72 m ³ Material: FRP		1	
M4	Agitador para tanque de disolución de floculante	Tipo: impulsor de hélice Material: superficie contacto: SUS304 Uso: disolución de reactivo	0.75	1	
T9	Tanque de almacenamiento de floculante	Tipo: cilíndrico Capacidad: 4.1 m ³ Material: FRP		1	
P5	Bomba de alimentación de floculante	Tipo: bomba de diafragma de flujo constante Capacidad: 2800mL/min Material: superficie contacto: PVC, PTFE	0.2	1	
	(Proceso de Neutralización)				
T11	Tanque de neutralización	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 20.4 m ³ Material: FRP		1	
F1	Alimentador de neutralizante	Tipo: alimentador sinfín (tolva: 10m ³) Capacidad: 3500kg/h Material: SS Accesorio: aire comprimido, filtro de saco	3.7 0.75	1	

No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
T12	Tanque emulsionante de neutralizante	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 3.5 m ³ Material: FRP		1	
M6	Agitador para tanque emulsionante de neutralizante	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS304 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	2.2	1	
P7	Bomba de neutralizante	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 200L/min×20mH Material: superficie contacto: FC+R/L	3.7	1	
DF2	Micro-difusor para tanque de neutralización	Tipo: actuador eléctrico Carrera: 60mm Material: PVC	0.08	1	
B2	Soplador de neutralización	Tipo: soplador roots Capacidad: 2.2 m ³ /min×6000mmAq Material: FC, etc.	7.5	1	
T13	Tanque de alimentación a filtro prensa	Tipo: cilíndrico (con deflectores) Capacidad: 75 m ³ Material: FRP		1	
M7	Agitador para tanque de alimentación a filtro prensa	Tipo: impulsor de paleta Material: superficie contacto: SUS316 Uso: prevención de sedimentación Otros: marcha blanca	55	1	
P8	Bomba de alimentación de sedimentos neutralizados	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 1200L/min×40mH Material: superficie contacto: FC+R/L	22	1	
FP1	Filtro prensa	Tipo: automática Capacidad: área de filtración: 203 m ² Material: marco y placa: PP, lecho: FC+R/L, etc. bandeja de goteo: SUS316	5.5	1	
CP1	Compresor para soplador	Tipo: reciprocante (sin aceite) Capacidad: 1230L/min	11.0	1	
RT1	Tanque receptor de aire comprimido	Tipo: cilíndrico Capacidad: 3000L Accesorio: válvulas seguridad, manual, manómetro		1	
P9	Bomba de lavado de medio filtrante	Tipo: bomba centrífuga multifase Capacidad: 140L/min×200mH Material: SUS304,SCS13, etc.	15.0	1	

No.	Denominación	Especificaciones	Potencia (KW)	Unidades	Observaciones
T14	Tanque de solución filtrada	Tipo: cilíndrico Capacidad: 75 m ³ Material: FRP		1	
P10	Bomba de descarga de neutralización	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 400L/min×45mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	15	1	
T15	Tanque de almacenamiento de agua post-lavado	Tipo: cilíndrico Capacidad: 3 m ³ Material: PE		1	
P11	Bomba de recirculación de agua post-lavado	Tipo: bomba centrífuga Capacidad: 15L/min×27mH Material: superficie contacto: SUS316,SCS14	1.5	1	
T20	Tanque de agua de lavado	Tipo: cilíndrico Capacidad: 3 m ³ Material: PE		1	
	Servicio Complementario				
P15	Unidad de suministro de agua	Tipo: Con tanque receptor y unidad de suministro automático Capacidad: 1.1 m ³ Material: Tanque: FRP; bomba: SUS304	0.4	1	
CP2	Compresor para instrumentación	Tipo: recíprocante (sin aceite) Capacidad: 45L/min×7kg/cm ²	0.4	1	

(2) Flujo del Proceso

En la Figura 5-5 adjunta, se muestra el flujo del proceso incluyendo a la planta modelo.

(3) Plan de Distribución en Planta

En la Figura 5-6 adjunta, se muestra el plan de distribución en planta simplificado incluyendo a la planta modelo.

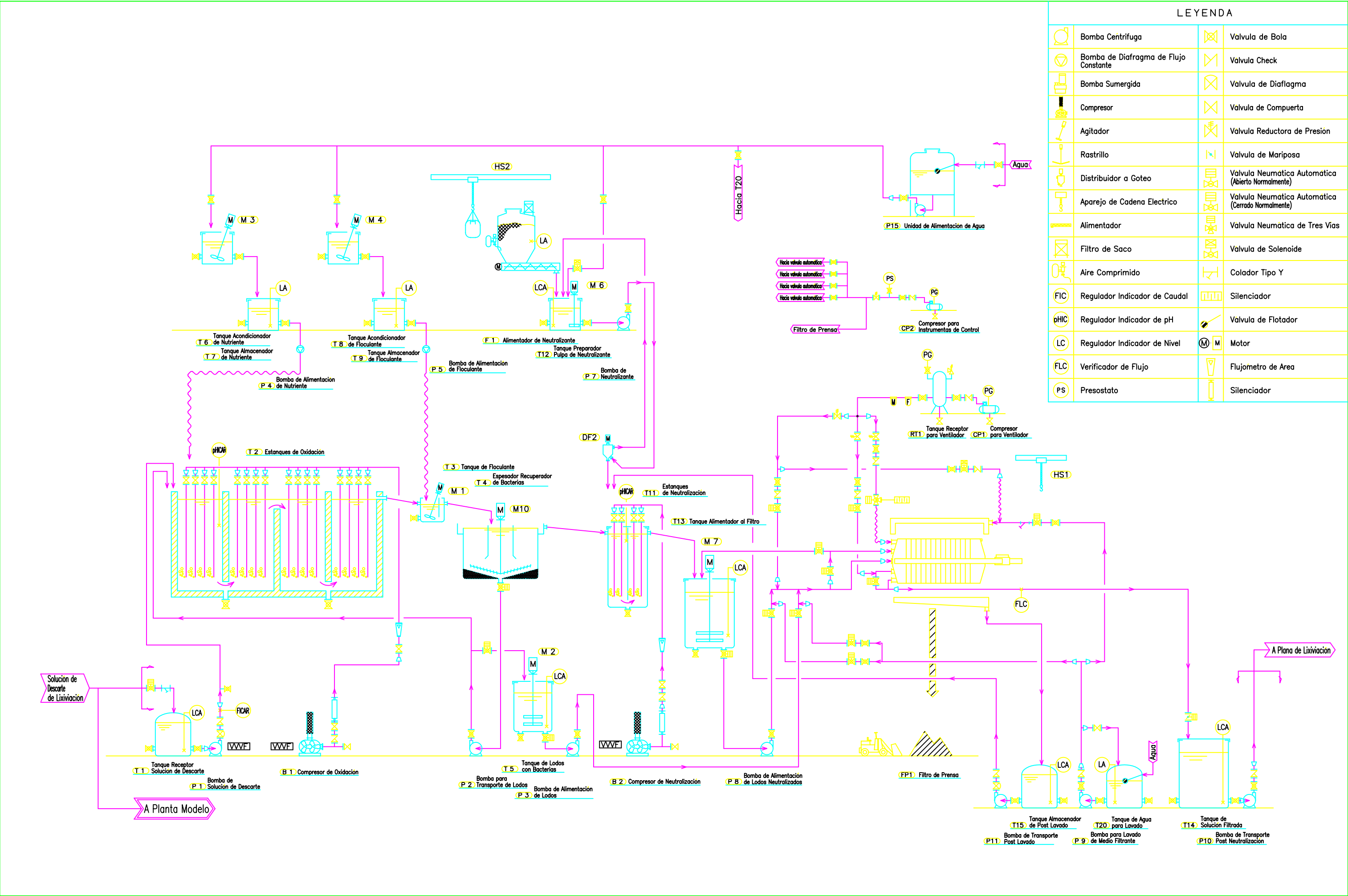
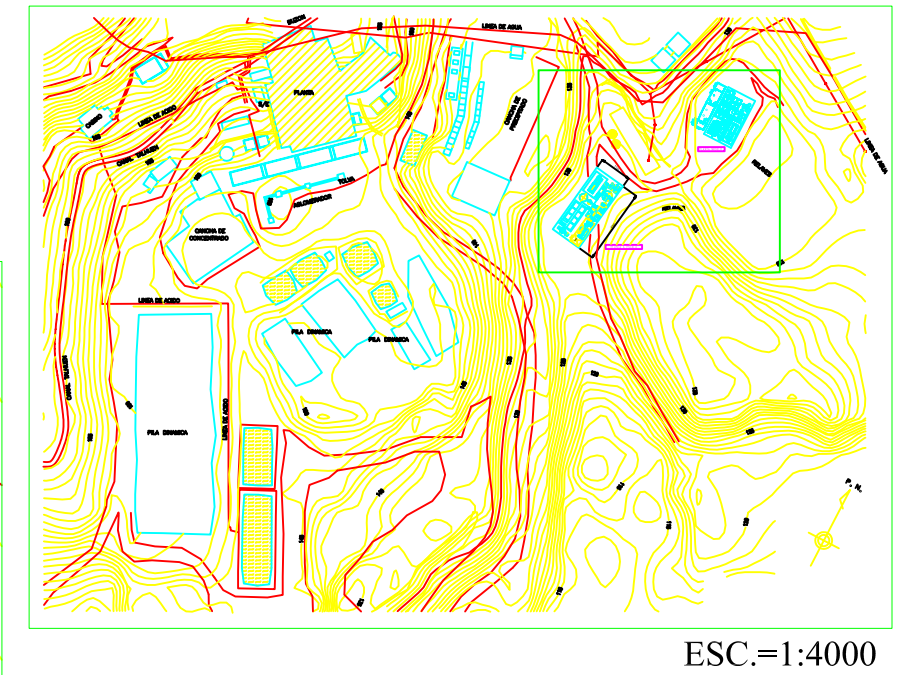
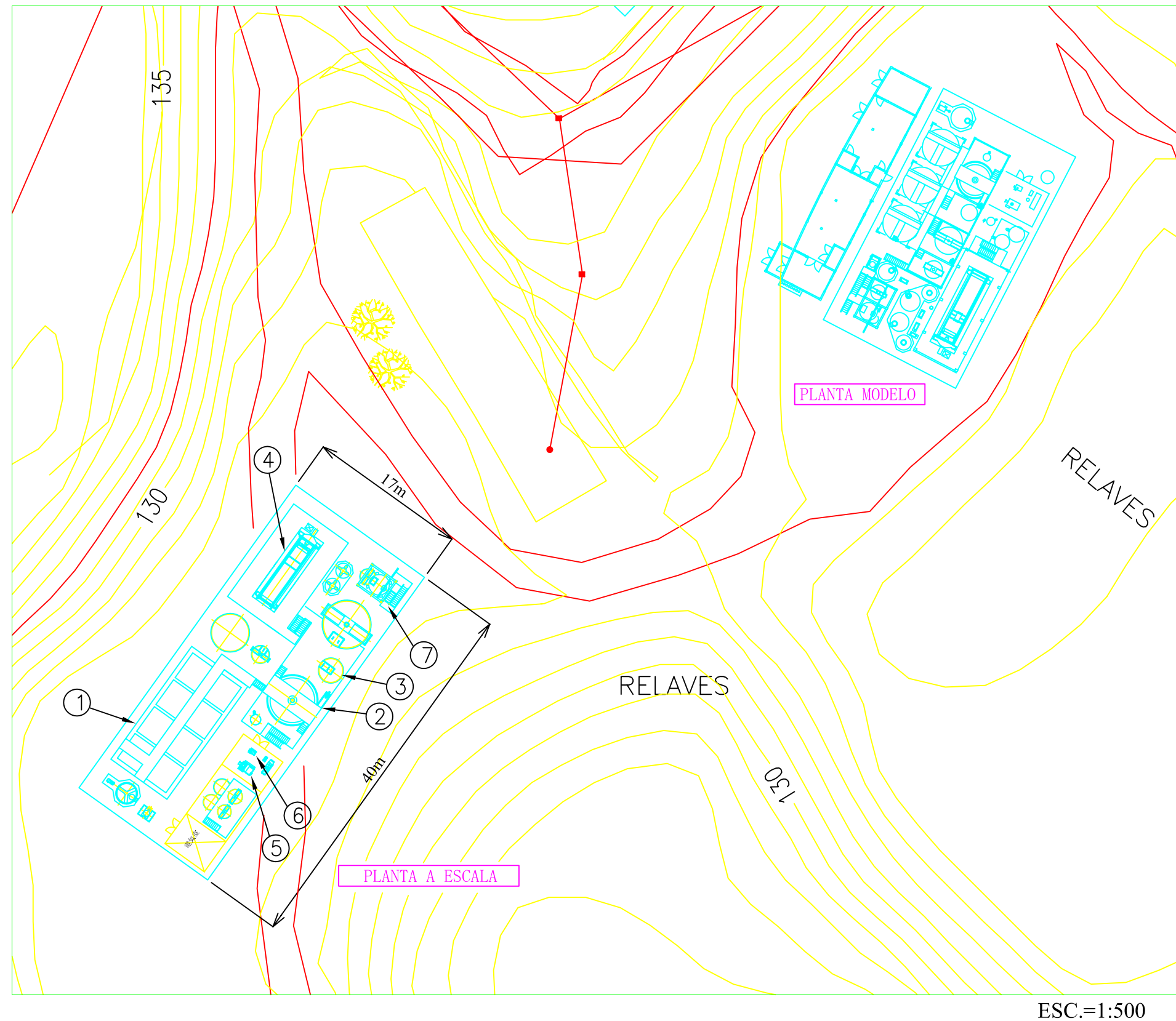


Figura 5-5 Diagrama de Flujo de la Planta a Escala (Caso 2)



1	T 2	Estanques de Oxidación
2	T 4	Espesador Recuperador de Bacterias
3	T 1 1	Estanques de Neutralización
4	F P 1	Filtro de Prensa
5	B 1	Compresor de Oxidación
6	B 2	Compresor de Neutralización
7		Instalación de Alimentación de Neutralizante

Figura 5-6 Distribución en Planta de la Planta a Escala (Caso 2)

5.3 Cálculo de Costos

Se estimaron la inversión para la infraestructura y los costos de operación basados en los resultados del análisis anterior. Para el Caso 1, se estimaron los costos requeridos en la ampliación de la planta modelo. Asimismo, se estimaron los costos de adecuación para el aprovechamiento máximo de la planta modelo.

5.3.1 Costos de Infraestructura

A continuación se detalla la estimación de los costos de infraestructura.

(Unidad: US\$)

	Adecuación de planta modelo para alcanzar la máxima capacidad de tratamiento 176m ³ /día	Caso 1: capacidad de tratamiento 330m ³ /día	Caso 2: capacidad de tratamiento 600m ³ /día
Equipos	35,000	282,000	1,245,000
Sistema eléctrico	4,000	47,000	354,000
Movimiento tierras	0	48,000	416,000
Construcción	0	22,000	110,000
Total	39,000	399,000	2,125,000

5.3.2 Costos de Operación

A continuación se muestra la estimación de los costos operativos.

(Unidad: US\$/año)

	Adecuación de planta modelo para alcanzar la máxima capacidad de tratamiento 176m ³ /día	Caso 1: capacidad de tratamiento 330m ³ /día	Caso 2: capacidad de tratamiento 600m ³ /día
Reactivos	67,000	126,000	228,000
Electricidad	26,000	38,000	83,000
Mano de obra	40,000	40,000	40,000
Mantenimiento	49,000	58,000	96,000
Total	182,000	262,000	447,000

※ Para los valores del reactivo se emplearon los siguientes datos. Ver capítulo 4 para los requerimientos de reactivos.

Carbonato de calcio: 0.0589 US\$/kg

Nutriente: 4.61 US\$/kg

Floculante: 4.428 US\$/kg

※ El costo de electricidad se estableció en 0.052US\$/KwH

※ Los costos de mano de obra corresponden a valores vigentes en la planta modelo.

※ Los costos de mantenimiento se establecieron como el 3% del costo de la infraestructura (equipos + sistema eléctrico). Para el caso de la planta modelo se estableció su costo en US\$1,600,000.

6 . Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

6 . Estudio de Factibilidad de la Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

6.1 Antecedentes

La planta Ovalle de ENAMI produce como uno de sus productos principales, precipitados de cobre a partir de minerales óxidos. El proceso consiste de precipitación con intercambio iónico cobre-hierro de la solución rica obtenida mediante lixiviación ácida (ver Figura 6-1 “antiguo procesamiento de minerales óxidos de cobre en la planta Ovalle”.); generando en él, residuos líquidos con alto contenido de sulfato de hierro. Este residuo líquido (en adelante solución de descarte), es tratado mediante su disposición en las pozas de evaporación, de modo que la parte líquida es evaporada a la atmósfera y la sólida sedimentada. Sin embargo, debido a que parte de esta solución es infiltrada hacia el subsuelo y luego emanada al estero El Ingenio que cursa alrededor de la planta, es causante de contaminación de aguas y suelos.

Comúnmente, esta inconveniencia es resuelta mediante la impermeabilización de las paredes de las pozas de evaporación, no obstante, para el caso de Ovalle, sería una solución parcial, ya que se encuentra en una zona expuesta a riesgos sísmicos y desbordamiento de las aguas del estero. En consecuencia, se realizaron pruebas de aplicabilidad del tratamiento de la solución de descarte mediante oxidación bacteriana y neutralización, a través de pruebas piloto en una planta modelo construida durante el presente estudio. Como resultado de estas pruebas se constató la viabilidad de su aplicación lográndose transferir la tecnología de operación compatible con el medio ambiente, en el procesamiento de minerales óxidos de la planta Ovalle, obteniéndose sedimentos estables fisicoquímicamente y la posibilidad de reciclaje de la solución tratada hacia el circuito de lixiviación (ver Figura 6-2 “actual procesamiento de minerales óxidos de cobre en la planta Ovalle”).

Por otro lado, como iniciativa propia de la contraparte chilena, se instaló una planta piloto, anexa al proceso de lixiviación para la producción de sulfato de cobre pentahidratado a partir de la solución rica de lixiviación, con la finalidad de disminuir la generación de solución de descarte, así como de diversificar su producción.

En efecto, el estudio de factibilidad se realizó para los siguientes niveles de procesamiento de minerales óxidos de cobre, incluyendo el escalamiento de la planta modelo de tratamiento de solución de descarte:

- 6,000tms/mes de mineral crudo (caso sin proyecto).
- 8,000tms/mes de mineral crudo.
- 14,000tms/mes de mineral crudo.

Con el incremento del procesamiento por encima de los 6,000tms/mes, debido al incremento del volumen a tratar de ésta, se requiere invertir en la ampliación de la planta de tratamiento de solución de descarte.

La evaluación tanto privada como social, se realizó bajo “Normas y Procedimientos para la Presentación de Antecedentes de Proyectos de Inversión de CODELCO-Chile y de ENAMI para el año 2003”, considerando los efectos del diagnóstico de operaciones y ambientales del presente estudio.

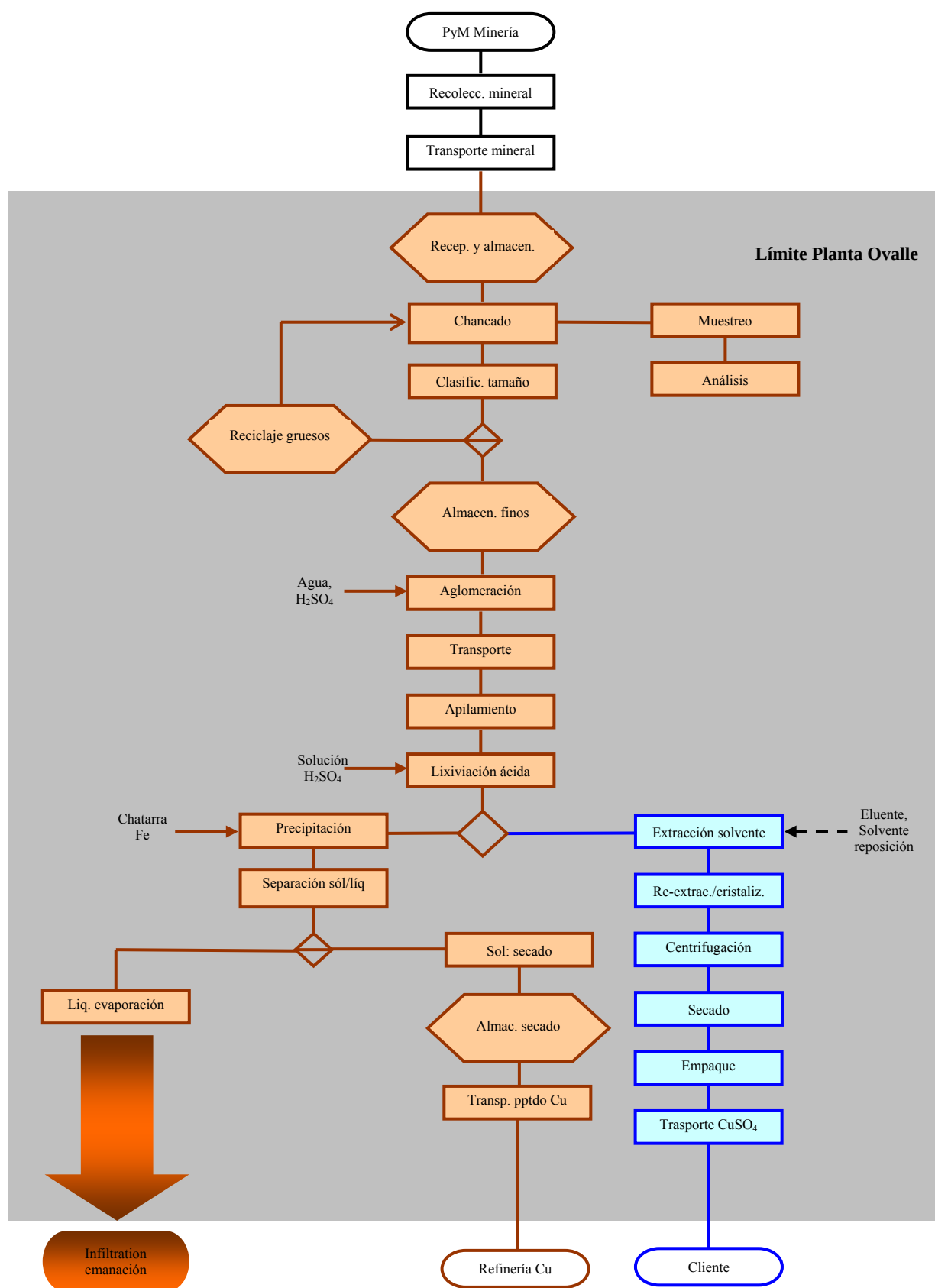


Figura 6-1 Antiguo Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle

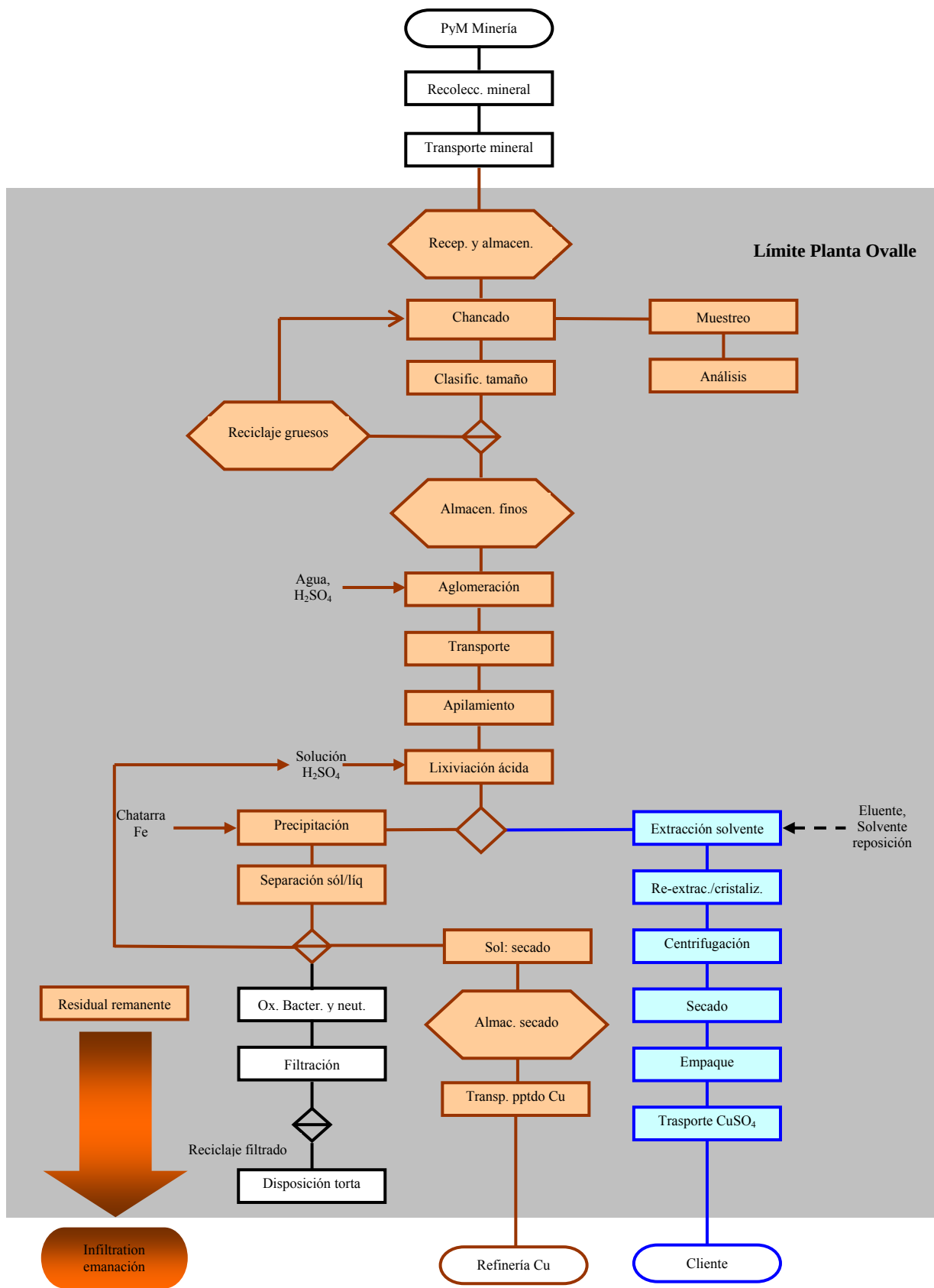


Figura 6-2 Actual Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle

6.2 Procedimiento de Aprobación de Proyectos

Los proyectos de ENAMI (incluyendo ampliaciones) son elaborados de acuerdo a las normas internas y evaluados por el directorio su viabilidad económica y técnica. Luego, son elevados simultáneamente a COCHILCO y MIDEPLAN para su aprobación. De ser aprobados por estas instituciones, a través del Ministerio de Hacienda son presentados al Congreso como parte del presupuesto del Ministerio de Minería correspondiente al período fiscal. De una parte COCHILCO enfatiza la factibilidad técnica y financiera basada en la estimación del precio del cobre; y de otra MIDEPLAN, la compatibilidad con otros sectores de la actividad económica dentro del marco de desarrollo sustentable de los recursos naturales.

En consecuencia, el presente estudio ha sido elaborado en función a los requerimientos de ENAMI, en hoja de cálculo electrónica (formato Excel de Microsoft), de modo que sea utilizado por la planta Ovalle en el estudio de ejecución del proyecto.

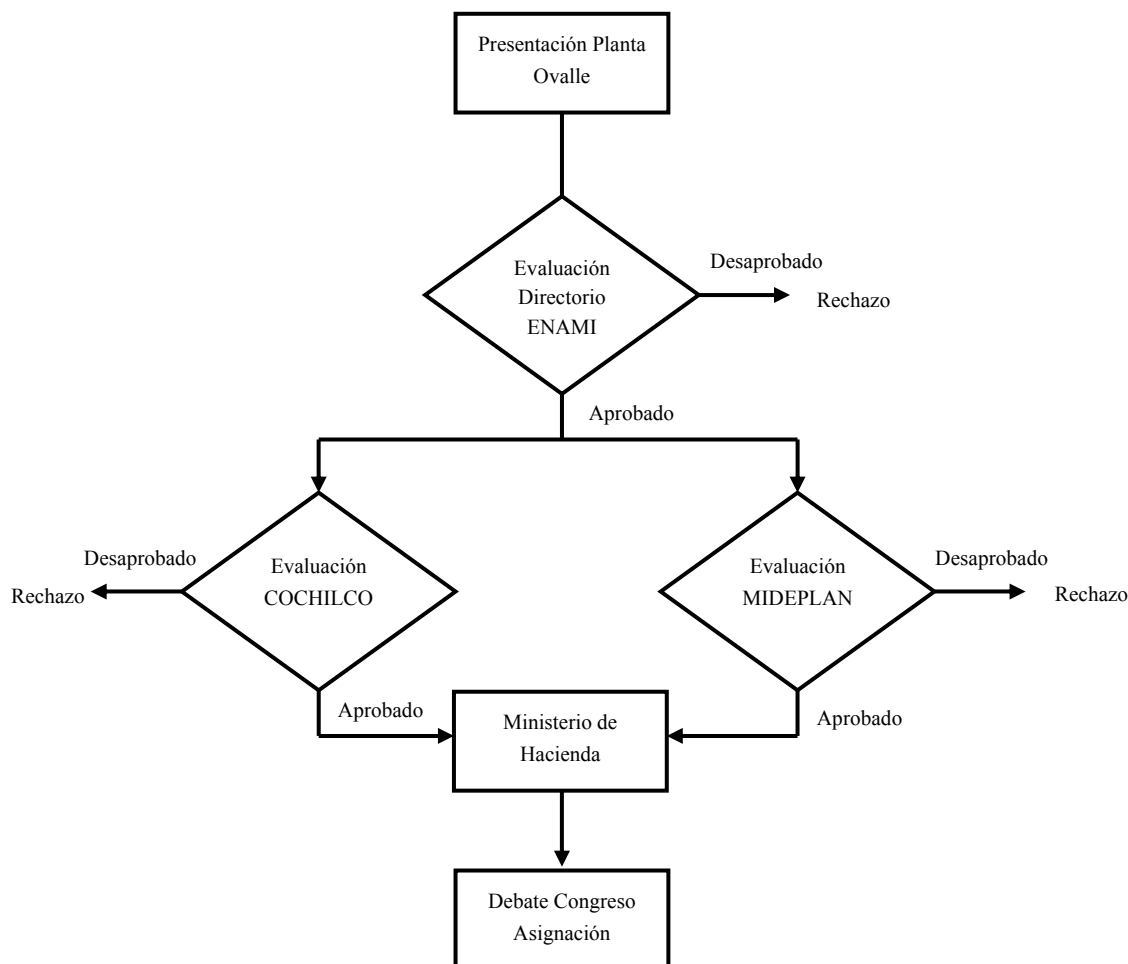


Figura 6-3 Procedimiento de Aprobación de Proyectos en ENAMI

6.3 Producción y Mercado

6.3.1 Oferta y Demanda

A continuación se describe la situación del mercado de precipitado de cobre y sulfato de cobre pentahidratado producidos en el procesamiento de minerales óxidos de la planta Ovalle.

(1) Precipitado de Cobre

La ley de cobre de este producto oscila entre 65 y 85%, y para su comercialización requiere darle valor agregado mediante tratamiento pirometalúrgico. A pesar de su alta ley con respecto al aproximadamente 25% que posee el concentrado -que se trata en forma conjunta en el proceso de fundición-, es un producto no muy apreciado debido a su baja composición en azufre, siendo inadecuado para la reacción exotérmica que se requiere.

Sin embargo, en las fundiciones de ENAMI es adicionado en pequeñas proporciones a los hornos convertidores PS (*Pierce-Smith*), cumpliendo la función de regular la temperatura de operación, aparte de contribuir en la recuperación del cobre. La capacidad de asimilación en la refinería Ventanas es de 5,000tms/año (1.25% de la materia prima), y en Paipote 6,000tms/año (2% de la materia prima). Aunado este total de 11,000tms/año, los requerimientos de terceros (1,200tms durante el año 2000), es posible estimar la demanda interna chilena en aproximadamente 12,200tms/año. Asimismo, siendo un producto no transable, inferir que esta demanda es la total.

En contrapartida, la estructura de la oferta del precipitado de cobre está constituida por las plantas de ENAMI, pequeños y medianos productores sustentados y productores independientes. Como se observa en la Figura 6-4 “oferta de precipitado versus cotización de cobre” (ploteado con datos del Cuadro 6-1), la oferta del precipitado de cobre ha disminuido correlacionado a la cotización del cobre.

Como se observa en la Figura 6-5 “estructura de la oferta de precipitado de cobre” (ploteado con datos de los Cuadros 6-1 y 6-2), durante el año 2000, ENAMI abarcó el 62% de la oferta (total producido entre El Salado, Taltal, Ovalle y Vallenar), y la diferencia de 38% por terceros. Asimismo, es posible estimar la capacidad de producción de las plantas de ENAMI en 11,800tms/año (3,200tms/año corresponde a la planta Ovalle), del 45% en la tasa de operación reportada en el mismo período. Sin embargo, debido a la reducción del abastecimiento de minerales crudos por parte de la pequeña y mediana minería de las respectivas circunscripciones, se ha visto reducidas las tasas de operación en sus plantas, como efecto de las bajas cotizaciones del cobre.

Por otro lado, en la planta El Salado, que cubre el 24% de la oferta de precipitados de cobre, se está planeando el cambio de proceso hacia la aplicación del método extracción por solventes - electrodeposición (*SX-EW*), con la finalidad de producir cobre electrolítico. Cuenta con una planta de *SX-EW* de 55t/mes capacidad instalada, la cual ha logrado producir cobre de 99.996% de pureza.

Cuadro 6-1 Oferta de Precipitado versus Cotización de Cobre (unidad: tms)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Pequeños productores	5,216	3,026	2,488	2,435	3,395	4,525
Medianos productores	8,733	3,932	0	26	0	0
Productores independientes	1,097	354	128	581	599	922
Oferta externa a ENAMI	15,046	7,312	2,616	3,042	3,994	5,447
Tratamiento en fundiciones de ENAMI	29,745	13,658	8,631	2,769	3,659	9,407
Tratamiento por terceros	2,239	1,972	0	8,742	11,611	1,247
Oferta total	31,984	15,630	8,631	11,511	15,270	10,654
Promedio anualizado del precio LME <i>settlement</i> de Cu						
US\$/tmf	2,936.52	2,290.46	2,275.70	1,652.88	1,573.66	1,814.26
¢/lb	133.20	103.89	103.22	74.97	71.38	82.29

Fuentes:

- 1) Oferta de precipitado de cobre: *ENAMIs Annual Report, 1996, 1998 & 2000*
- 2) Precio de Cu: LME

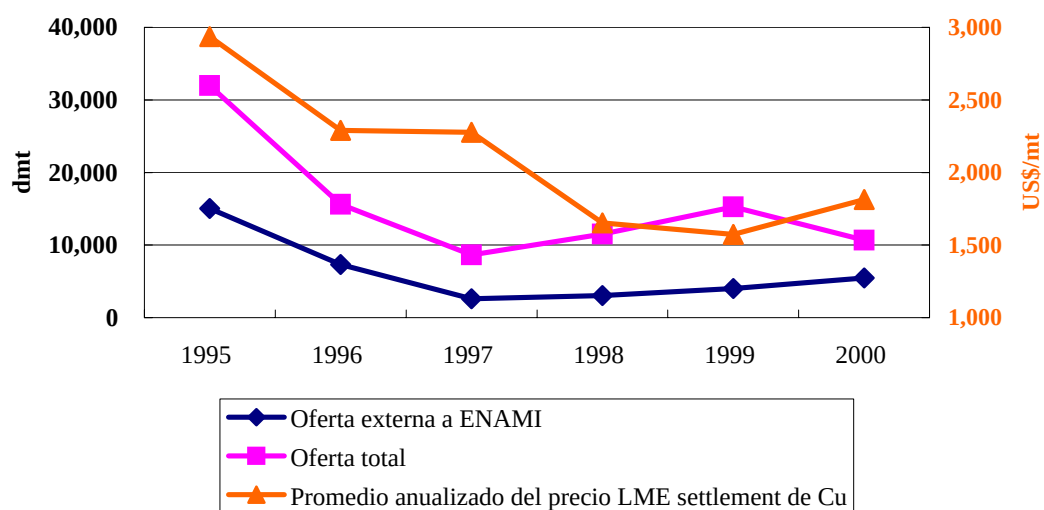


Figura 6-4 Oferta de Precipitado versus Cotización de Cobre

Cuadro 6-2 Estructura de la Oferta de Precipitados de Cobre (Año 2000)

	Planta	Taltal	El Salado	Vallenar	Ovalle	Total ENAMI
Abastecimiento mineral	tms	55,754	116,710	32,424	61,530	266,418
Procesamiento mineral	tms	71,155	116,710	35,397	53,173	276,435
Tasa operación		49%	79%	25%	32%	
Capacidad instalada	tms	150,000	150,000	140,000	170,000	610,000
Oferta Pptdo Cu	tms	3,082	3,452	1,067	1,390	8,991
Contenido Cu	fmt	2,455	2,901	870	1,139	7,365
Ley Cu		80%	84%	82%	82%	82%
Tasa recuperación		78%	78%	81%	76%	78%
Capacidad de producción calculada*	tms	2,900	2,900	2,800	3,200	11,800

* Cálculos basados en 2.5% de ley, tasa de recuperación de los resultados del año 2000

Fuente: ENAMI Annual Report 2000

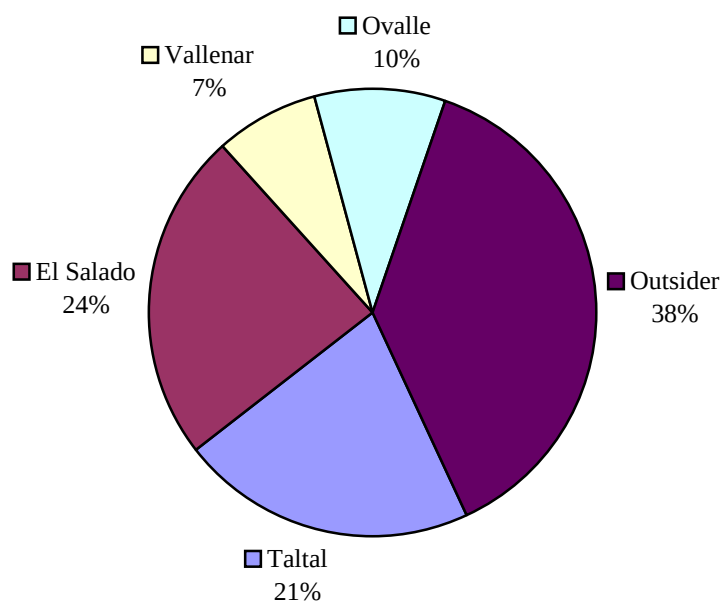


Figura 6-5 Estructura de la Oferta de Precipitados de Cobre (Año 2000)

En consecuencia, de mantenerse la capacidad de asimilación del precipitado de cobre en las fundiciones de ENAMI y de plasmarse la reducción de producción de éste en la planta El Salado, es posible estimar que un plan de incremento de producción de precipitados de cobre en la planta Ovalle, es factible. Es decir, es posible desarrollar una demanda para las 3,200tms/año, capacidad máxima de producción de precipitado de cobre de la planta Ovalle.

(2) Sulfato de Cobre Pentahidratado

La fórmula química de este producto es $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, siendo su contenido de cobre de 26% en peso. En la planta Ovalle se producen actualmente 40tm/mes, siendo exportados a Rumania a través de un agente a un precio ex-work de 98¢/lbCu (2,160.53US\$/tmCu = 561.73US\$/tmsulfato). Su costo de producción asciende a 280US\$/tmsulfato y se reporta un mercado potencial de 100tm/mes.

La demanda mundial se estima en 200,000tm/año y las $\frac{3}{4}$ partes tienen uso agrícola, siendo la mayor parte como pesticidas. Asimismo, se informa que existen más de 100 productores¹⁾. Además, se aplica como electrolito para la refinación de cobre, material de recubrimiento en la galvanización de cobre, activador de flotación de plomo, zinc, cobalto y oro, elaboración de matrices de impresión de cobre, materia prima para pinturas antioxidantes y pigmento para vidrios, entre otros usos.

6.3.2 Capacidad de Producción

El proceso de lixiviación de la planta Ovalle cuenta con una capacidad de procesamiento de minerales óxidos de 170,000tms/año (aproximadamente 14,000tms/mes), para producir 3,200tms/año de precipitados de cobre. No obstante, siendo la capacidad de abastecimiento de minerales crudos de las minas de la zona de influencia de aproximadamente 6,000tms/mes, debida a las bajas cotizaciones del cobre, opera alrededor del 43% de su capacidad instalada. Sin embargo, como plan de mediano plazo se estima alcanzar un nivel de procesamiento de 8,000tms/mes. Asimismo, mantiene una producción basada en la práctica de lixiviación secundaria a razón del 48% de la lixiviación primaria.

Por otro lado, del resultado de operaciones del año 2000, es decir una tasa de recuperación del cobre de 82.2% y estimando una ley promedio de cobre del 2.3%, se tiene que para una producción de 40tm/mes de sulfato de cobre pentahidratado (26% de contenido de cobre), se requieren 712tms/mes de mineral crudo -es decir una demanda del 12% del mineral crudo-, considerando una tasa de recuperación del cobre del 77.3% en este proceso.

6.3.3 Materia Prima y Agregados

(1) Materia Prima

La materia prima de este proceso consiste de los minerales óxidos de cobre que son abastecidos por la pequeña y mediana minería de la zona de influencia (entre 40 y 50 productores). Como se citara anteriormente, este abastecimiento ha disminuido en los últimos años, afectado por las bajas cotizaciones del cobre. De acuerdo al reporte del año 2000 de ENAMI, las reservas de minerales óxidos de cobre son como se muestran en el siguiente cuadro.

¹⁾ Fuente: Technical Department, Copper Development Association Inc., U.K. "Uses of Copper Compounds".

Cuadro 6-3 Reservas de Minerales Oxidos de Cobre (Propiedades de ENAMI)

Zona	Propiedades Mineras	Reservas Probadas (tm)	Ley de Cu (%)	Reservas Posibles (tm)	Total (tm)
Norte	67	1,311,208	2.08	510,874	1,822,082
Centro y Sur	7	423,575	1.85	828,453	1,252,028
Total	74	1,734,783	2.02	1,339,327	3,072,110

Fuente: ENAMI Annual Report 2000

Es posible estimar la vida útil de las reservas proyectando un nivel de procesamiento actual de 276,435tms/año (ver “total ENAMI” del “procesamiento de crudo” en Cuadro 6-2), de 6.3 años considerando las reservas probadas y de 11.1 años considerando además las reservas posibles.

Sin embargo, debido a que el costo de abastecimiento de minerales crudos es sustentado por ENAMI, no es considerado dentro de la estructura de costos de la planta Ovalle.

(2) Agregados

Para la producción de precipitado de cobre se requiere materiales agregados como chatarra de hierro y ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico es abastecido por tierra desde las fundiciones de Paipote y Ventanas, siendo el costo puesto en planta de 39.00US\$/tm. La chatarra de hierro puesto en planta Ovalle es de 57.00US\$/tm, siendo materiales de desecho industrial (maquinaria y piezas), es posible catalogar que en este proceso se contribuye al “sistema económico cerrado” mediante el reciclaje de recursos. En el siguiente cuadro se muestra los resultados del año 2001 en planta Ovalle.

Cuadro 6-4 Materiales Agregados: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

Material Agregado	Item	Unidad	Lixiviación Primaria	Lixiviación Secundaria
Acido sulfúrico	Consumo	US\$	361,880	44,752
	Procesamiento mineral crudo	tms	69,126	32,860
	Costo unitario	US\$/tms	5.24	1.36
Chatarra de hierro	Consumo	US\$	69,751	6,750
	Procesamiento mineral crudo	tms	69,126	32,860
	Costo unitario	US\$/tms	1.01	0.21

Fuente: Planta Ovalle

Por otro lado, con la instalación de la planta modelo de tratamiento de solución de descarte, se requieren reactivos como neutralizantes, floculante y nutriente de bacterias. En el siguiente cuadro se muestra los costos de adquisición y consumo. En el acápite 6.3.10 “planta de tratamiento de solución de descarte” se describe los costos de tratamiento incluyendo los costos de reactivos.

Cuadro 6-5 Materiales Agregados: Planta de Tratamiento de Solución de Descarte

Reactivos	Costo de adquisición (US\$/kg)	Consumo (kg/m ³)	Costo unitario (US\$/ m ³)
Carbonato de calcio	0.0589	17	1.00
Flocultante	4.248	0.005	0.0266
Nitriente	4.61	0.0025	0.0115

6.3.4 Materiales para Planta y Costo de Mantenimiento

En el siguiente cuadro se muestra los resultados de los costos de materiales para el procesamiento de minerales óxidos de cobre de la planta Ovalle en el año 2001.

Cuadro 6-6 Materiales para Planta y Costo de Mantenimiento: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

Item	Unidad	% Costo Fijo	Recepción mineral crudo	Chancado	Proceso precipitado Cu		Proceso sulfato Cu
					Lixiviación primaria	Lixiviación secundaria	
Materiales de seguridad	US\$	50%	135	150			
Repuestos	US\$	20%	2,436	12,343	25,222		9,346
Insumos	US\$	0%	69	356	1,003		209
Costo de mantenimiento	US\$	85%	2,847	10,177	47,900	200	12,979
Otros costos fijos	US\$	100%	1,834	72	4,666		337
Otros costos variables	US\$	0%	452	1,834	1,519		
Sub total costos fijos	US\$		4,809	11,267	50,425	170	13,238
Sub total costos variables	US\$		2,964	13,666	29,885	30	9,633
Total	US\$		7,774	24,932	80,310	200	22,871
Procesamiento de mineral crudo	tms		69,318	69,318	69,125	32,860	193
Costo unitario fijo	US\$/tms		0.07	0.16	0.73	0.0052	68.73
Costo unitario variable	US\$/tms		0.04	0.20	0.43	0.0009	50.01
Costo unitario total	US\$/tms		0.11	0.36	1.16	0.0061	118.75

Fuente: Planta Ovalle

*Los costos de recepción de mineral crudo y chancado son prorrata del volumen de procesamiento de minerales óxidos debido a que son operaciones compartidas con procesamiento de minerales sulfurados.

6.3.5 Servicios Generales

En el siguiente cuadro se muestra los resultados de los costos de servicios generales para el procesamiento de minerales óxidos de cobre de la planta Ovalle en el año 2001.

Cuadro 6-7 Servicios Generales: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

Item	Unidad	Recepción mineral crudo	Chancado	Proceso precipitado Cu		Proceso sulfato Cu
				Lixiviación primaria	Lixiviación secundaria	
Costos fijos	US\$			1,615		
Costos variables	US\$	4,154	262	10,128	3,977	1,237
Total	US\$	4,154	262	11,743	3,977	1,237
Procesamiento de mineral	tms	69,318	69,318	69,125	32,860	193
Costo unitario fijo	US\$/tms	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Costo unitario variable	US\$/tms	0.06	0.004	0.15	0.12	6.42
Costo unitario	US\$/tms	0.06	0.004	0.17	0.12	6.42

Fuente: Planta Ovalle

*Los costos de recepción de mineral crudo y chancado son prorrata del volumen de procesamiento de minerales óxidos debido a que son operaciones compartidas con procesamiento de minerales sulfurados.

6.3.6 Localización de Planta e Ingeniería

Sobre este ítem, debido a que los costos son considerados como “hundidos”²⁾, por ser irrogados mediante el presente estudio, han sido excluidos del análisis económico-financiero.

6.3.7 Costos Indirectos y Administrativos

Los principales costos indirectos y administrativos del procesamiento de minerales óxidos de cobre de la planta Ovalle consisten de gestión administrativa, viáticos, costos de transporte, tratamiento de información y análisis. En el siguiente cuadro se muestra los resultados de los costos indirectos y administrativos para el procesamiento de minerales óxidos de cobre de la planta Ovalle en el año 2001.

Cuadro 6-8 Costos Indirectos y Administrativos: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

Item	Unidad	Recepción mineral crudo	Chancado	Proceso precipitado Cu		Proceso sulfato Cu
				Lixiviación primaria	Lixiviación secundaria	
Costos fijos	US\$	90,199	23,945	314,581		304
Costos variables	US\$	47		13,794	576	
Total	US\$	90,246	23,945	328,375	576	304
Procesamiento de mineral	tms	69,318	69,318	69,125	32,860	193
Costo unitario fijo	US\$/tms	1.30	0.35	4.55	0.00	1.58
Costo unitario variable	US\$/tms	0.0007	0.00	0.20	0.02	0.00
Costo unitario	US\$/tms	1.30	0.35	4.75	0.02	1.58

Fuente: Planta Ovalle

*Los costos de recepción de mineral crudo y chancado son prorratea del volumen de procesamiento de minerales óxidos debido a que son operaciones compartidas con procesamiento de minerales sulfurados.

6.3.8 Mano de Obra

La mano de obra en la planta Ovalle se clasifica en personal de nómina directa y contratados por terceros. En el siguiente cuadro se muestra los resultados de los costos de mano de obra para el procesamiento de minerales óxidos de cobre de la planta Ovalle en el año 2001. Este costo deberá ser ajustado 2% anualmente según las normas internas de ENAMI.

Cuadro 6-9 Mano de Obra: Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre

Item	Unidad	Recepción mineral crudo	Chancado	Proceso precipitado Cu		Proceso sulfato Cu
				Lixiviación primaria	Lixiviación secundaria	
Costo fijo mano obra directa	US\$	16,511	10,181	59,582		
Costo variable m.o. directa	US\$	2,061	1,626	7,861		
Costo fijo mano de obra 3ro.	US\$	6,726	3,937	34,026		11,337
Costo variable m.o. 3ro.	US\$	27,112	28,601	161,342	43,464	17,609
Total	US\$	52,410	44,346	262,811	43,464	28,946
Procesamiento de mineral	tms	69,318	69,318	69,125	32,860	193
Costo unitario fijo	US\$/tms	0.34	0.20	1.35	0.00	58.86
Costo unitario variable	US\$/tms	0.42	0.44	2.45	1.32	91.43
Costo unitario	US\$/tms	0.76	0.64	3.80	1.32	150.29

Fuente: Planta Ovalle

*Los costos de recepción de mineral crudo y chancado son prorratea del volumen de procesamiento de minerales óxidos debido a que son operaciones compartidas con procesamiento de minerales sulfurados.

²⁾ *sunk cost*

6.3.9 Depreciación de Activos Fijos

Los resultados de operaciones del año 2001 para los costos de depreciación de activos fijos fueron US\$4,856, US\$30,317 y US\$84,246 respectivamente para recepción de minerales, chancado y proceso de producción de precipitados de cobre. Las dos primeras operaciones son compartidas con el procesamiento de minerales sulfurados; de modo que mediante la prorrata del 52% que corresponde a la tasa de procesamiento de minerales óxidos, se tiene que la depreciación de activos correspondiente es de US\$102,526. En consecuencia, con el objeto de mantener la capacidad instalada actual del este proceso, se requeriría realizar inversiones de este orden (US\$100,000) anualmente.

Por otro lado, siendo irrelevante el valor residual de las instalaciones para la evaluación del presente análisis, se ha excluido este costo en él. Es decir, se ha considerado que la principal inversión del proyecto que consiste en la ampliación de la planta de tratamiento de solución de descarte (para los casos de 8,000 y 14,000tms/día de procesamiento), no tiene valor residual al cabo de 15 de años de operación.

6.3.10 Planta de Tratamiento de Solución de Descarte

En el siguiente cuadro se muestra los montos de inversión para la construcción de la planta a escala de tratamiento de solución de descarte para cada nivel de procesamiento de minerales, y sus respectivos costos operativos. Asimismo los volúmenes estimados de solución de descarte que se generarían³⁾.

Cuadro 6-10 Costos de Planta a Escala de Tratamiento de Solución de Descarte

Capacidad procesamiento de minerales crudos	6,000tms/mes	8,000tms/mes	14,000tms/mes
Generación de solución descarte	250m ³ /day	330m ³ /day	600m ³ /day
Capacidad de tratamiento de solución descarte	176m ³ /day	330m ³ /day	600m ³ /day
Volumen de reciclaje de solución tratada	158m ³ /day	297m ³ /day	540m ³ /day
Inversión (US\$)	39,000	399,000	2,125,000
Costo operativo (US\$)	182,000	262,000	447,000

6.4 Plan de Ejecución

El plan de ejecución consiste de un año de construcción y 15 años de operación de la planta a escala de tratamiento de descarte; por ende, un proyecto de 16 años. De acuerdo al cálculo estimado en el acápite 6.3.3 (1) “materia prima”, las reservas mineras explotables son para 11.1 años de operación; no obstante, en el presente proyecto se considera que se irán descubriendo minerales explotables constantemente de modo que sea posible continuar las operaciones sin interrupción.

³⁾ Del balance de materia, es posible reciclar el 94% de la solución tratada, considerando la humedad de torta del 47.5% que sale del sistema cíclico. Sin embargo se ha estimado una tasa de reciclaje del 90% considerando las pérdidas por evaporación y fuga en el circuito.

Por otro lado, se ha excluido del presente análisis los efectos del cierre de la faena, ya que aun no se han establecido las normas de cierre de minas y ésta no afectará en la comparación de los tres casos a tratados.

La valorización de los ingresos de la planta Ovalle se basa en las normas internas de ENAMI, considerándola como una planta maquiladora que otorga valor agregado a los minerales crudos que procesa; siendo la modalidad de valoración del procesamiento de minerales óxidos como se describe a continuación.

6.4.1 Ingreso por Compra de Minerales para Lixiviación

Valorización de las actividades de adquisición de minerales crudos abastecidos por minas circundantes. El cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$I_C^{mo} = C_{Tc} * Q_C = 9,178.67 \text{ US\$/mes}^{4)}$$

C_{Tc} : cargo de tratamiento-compra (1.28 US\$/tms)

Q_C : peso seco-compra (7,170.836 tms)⁴⁾

6.4.2 Ingreso por Chancado de Minerales para Lixiviación

Valorización de las actividades de chancado de minerales crudos abastecidos por minas circundantes. El cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$I_{Ch}^{mo} = C_{Tch} * Q_{Ch} = 13,696.30 \text{ US\$/mes}^{4)}$$

C_{Tch} : cargo de tratamiento-chancado (1.91 US\$/tms)

Q_{Ch} : peso seco-chancado (7,170.836 tms)⁴⁾

6.4.3 Ingreso por Beneficio de Minerales Oxidados de Cobre

Valorización del proceso de beneficio de minerales óxidos de cobre hasta producir precipitados de cobre. El cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$I_b^{mo} = (C_{Tf} + C_{Tv}) * Q_b = 67,587.70 \text{ US\$/mes}^{4)}$$

C_{Tf} : cargo fijo de tratamiento-beneficio (8.10 US\$/tms)

C_{Tv} : cargo variable de tratamiento-beneficio (4.87 US\$/tms)⁴⁾

$$C_{Tv} = C_{Tb} * L_m$$

C_{Tb} : base cargo variable (1.965)

L_m : ley de Cu soluble (2.480 %)⁴⁾

Q_b : peso seco-beneficio (5,209.794 tms)⁴⁾

6.4.4 Valorización de Finos de los Precipitados de Cobre

Valorización de la eficiencia de operación real comparada con resultados ideales definidos mediante planta estándar cuyos parámetros de operación consisten de una tasa de recuperación de cobre de 77.68%, una ley de precipitados de cobre de 75.5% y una tasa de pérdidas de 4% de

⁴⁾ Verbigracia resultado febrero de 2001

cobre; y dependiente del nivel de cotización de cobre en el mercado, así como de cargos de tratamiento y refinación. El cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

(1) Valorización para Planta Estándar

$$V_{PS} = [f_{Cu-P} (P_{Cu} - C_{Cu}^R) F_c (1 - p_{Cu}^m / 100) - (W_{s-P} * M_f)] = 117,017.98 \text{ US$/mes}$$

f_{Cu-P} : contenido Cu-fino en precipitado (100.365 tmf) ⁴⁾

P_{Cu} : precio de cobre (68.2180 US\$/lb) ⁵⁾

C_{Cu}^R : cargo refinación de cobre (7.62 ¢/lb)

si $P_{Cu} < 80\text{¢/lb} \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 80)$

si $P_{Cu} [80\text{¢/lb} , 100\text{¢/lb}] \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb}$

si $P_{Cu} > 100\text{¢/lb} \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 100)$

C_{Cu}^{Rb} : base cargo refino de cobre (8.80¢/lb)

F_c : factor de conversión (22.0462 US\$/lb/¢-tm)

p_{Cu}^m : pérdida metalúrgica de cobre (4.00 %)

W_{s-P} : peso seco-precipitado (132.934 tms) ⁴⁾

M_f : cargo de fusión (88.00 US\$/tms)

Además, los parámetros de recuperación y la ley de cobre en el precipitado de la planta estándar se definen como sigue:

R_{Cu} : recuperación de cobre (77.68 %)

L_{Cu-P} : ley de cobre en el precipitado (75.50 %)

(2) Valorización para Planta Real

$$V_{PR} = [f_{Cu-P} (P_{Cu} - C_{Cu}^R) F_c (1 - p_{Cu}^m / 100) - (W_{s-P} * M_f)] = 112,400.79 \text{ US$/mes}$$

f_{Cu-P} : contenido Cu-fino en precipitado (95.320 tmf) ⁴⁾

P_{Cu} : precio de cobre (68.2180 ¢/lb) ⁵⁾

C_{Cu}^R : cargo refinación de cobre (7.62 ¢/lb)

si $P_{Cu} < 80\text{¢/lb} \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 80)$

si $P_{Cu} [80\text{¢/lb} , 100\text{¢/lb}] \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb}$

si $P_{Cu} > 100\text{¢/lb} \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 100)$

C_{Cu}^{Rb} : base cargo refino de cobre (8.80¢/lb)

F_c : factor de conversión (22.0462 US\$/lb/¢-tm)

p_{Cu}^m : pérdida metalúrgica de cobre (4.00 %)

W_{s-P} : peso seco-precipitado (111.878 tms) ⁴⁾

M_f : cargo de fusión (88.00 US\$/tms)

Los valores de recuperación y la ley de cobre en el precipitado resultaron ser (en febrero de 2002):

R_{Cu} : recuperación de cobre (73.78 %)

L_{Cu-P} : ley de cobre en el precipitado (85.20 %)

⁵⁾ Promedio LME-settlement del mes anterior (Verbigracia resultado enero de 2001)

(3) Valorización Neta

Diferencia de las valorizaciones entre planta estándar y planta real:

$$V_N = V_{PR} - V_{PS} = 112,400.79 \text{ US\$/mes} - 117,017.98 \text{ US\$/mes} = -4,617.19 \text{ US\$/mes}^4$$

Por otro lado, a continuación se describe las condiciones de compra de minerales óxidos y precipitados de cobre sustentados por ENAMI, aplicables a terceros.

6.4.5 Valorización de Minerales de Cobre para Lixiviación

La valorización de los minerales óxidos abastecidos a la planta Ovalle por las minas circundantes se calcula mediante la siguiente fórmula:

(1) Valor Base

$$V_b = \{ [F_C (P_{Cu} - C_{Cu}^R) (L_p / 100) (1 - p_{Cu}^m / 100)] - M_f \} (R / 100) (L_m / L_p) - [C_f + L_m (C_a + C_{ch})] = 7.4125 \text{ US\$/tms}^4$$

F_C : factor de conversión (22.0462 US\\$/lb/¢-tm)

P_{Cu} : precio del cobre (70.8470¢/lb)⁴⁾

C_{Cu}^R : cargo refino de cobre (7.8847¢/lb)⁴⁾

si $P_{Cu} < 80¢/lb \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 80)$

si $P_{Cu} [80¢/lb , 100¢/lb] \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb}$

si $P_{Cu} > 100¢/lb \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 100)$

C_{Cu}^{Rb} : base cargo refino de cobre (8.80¢/lb)

L_p : ley de precipitados (75.50 %)

p_{Cu}^m : pérdida metalúrgica de cobre (4.00 %)

M_f : cargo de fusión (88.00 US\\$/tms)

R : recuperación (77.68 %)

L_m : ley de minerales (2.50 %)

C_f : cargo fijo (11.29 US\\$/tms)

C_a : cargo ácido sulfúrico (1.354 US\\$/1%)

$$C_a = P_{H_2SO_4} (R / 100) (C_{H_2SO_4} / 100)$$

$P_{H_2SO_4}$: precio ácido sulfúrico (35.00 US\\$/tm)

$C_{H_2SO_4}$: consumo ácido sulfúrico (4.98 kg/kg)

C_{ch} : cargo chatarra de hierro (0.6110 US\\$/1%)

$$C_{ch} = P_{ch} (R / 100) (C_{ch} / 100)$$

P_{ch} : precio chatarra de hierro (65.00 US\\$/tm)

C_{ch} : consumo chatarra de fierro (1.21 kg/kg)

(2) Valor Escala: para minerales con leyes mayores de 2.5%.

$$V_e = \{ [F_C (P_{Cu} - C_{Cu}^R) (L_p / 100) (1 - p_{Cu}^m / 100)] - M_f \} (R / 100) (1 / L_p) - (C_a + C_{ch}) = 7.4810 \text{ US\$/%-tms}^4$$

(3) Castigo ó Premio por Consumo de Ácido Sulfúrico: balance de consumo con respecto al valor base de consumo de ácido sulfúrico.

$$PP_{H_2SO_4} = C_a / C_a^b = 0.2719 \text{ US\$/\%-tms}$$

C_a^b : consumo ácido base (4.98 kg/kg)

(4) Fondo de Estabilización

$$F_E = [(F_C * A_{872}^D * 96.00) (R / 100)] / 10,000 = 2.3268 \text{ US\$/\%-tms}$$

A_{872}^D : acuerdo de directorio (14.1530¢/lb)

si $P_{Cu}^S - P_{Cu} < 0 \rightarrow A_{872}^D = 0$

si $P_{Cu}^S - P_{Cu} \geq 0 \rightarrow A_{872}^D = P_{Cu}^S - P_{Cu}$

P_{Cu}^S : precio del cobre de sustento (85.00¢/lb) ⁴⁾

6.4.6 Valorización de Precipitados de Cobre

La valorización de los precipitados de cobre abastecidos a las fundiciones de ENAMI por los pequeños productores se calcula mediante la siguiente fórmula:

(1) Valor Base

$$V_b = [F_C (P_{Cu} - C_{Cu}^R) (L_p / 100) (1 - p_{Cu}^m / 100)] - M_f = 778.1625 \text{ US\$/tms}$$

F_C : factor de conversión (22.0462 US\$/lb/¢-tm)

P_{Cu} : precio del cobre (70.8470¢/lb) ⁴⁾

C_{Cu}^R : cargo refino de cobre (7.8847¢/lb) ⁴⁾

si $P_{Cu} < 80\text{¢/lb} \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 80)$

si $P_{Cu} [80\text{¢/lb} , 100\text{¢/lb}] \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb}$

si $P_{Cu} > 100\text{¢/lb} \rightarrow C_{Cu}^R = C_{Cu}^{Rb} + 0.1 (P_{Cu} - 100)$

C_{Cu}^{Rb} : base cargo refino de cobre (8.80¢/lb)

L_p : ley de precipitados (65.00 %)

p_{Cu}^m : pérdida metalúrgica de cobre (4.00 %)

M_f : cargo de fusión (88.00 US\$/tms)

(2) Valor Escala: para precipitados con leyes mayores de 65%.

$$V_e = F_C (P_{Cu} - C_{Cu}^R) (1 / 100) (1 - p_{Cu}^m / 100) = 13.3256 \text{ US\$/\%-tms}$$

(3) Fondo de Estabilización:

$$F_E = [(F_C * A_{872}^D * 96.00)] / 10,000 = 2.9954 \text{ US\$/\%-tms}$$

A_{872}^D : acuerdo de directorio (14.1530¢/lb)

si $P_{Cu}^S - P_{Cu} < 0 \rightarrow A_{872}^D = 0$

si $P_{Cu}^S - P_{Cu} \geq 0 \rightarrow A_{872}^D = P_{Cu}^S - P_{Cu}$

P_{Cu}^S : precio del cobre de sustento (85.00¢/lb) ⁴⁾

Por otro lado, para el análisis económico-financiero se consideraron los valores resultados en la planta Ovalle del año 2001, descritos en los acápites del 6.3.3 “materia prima y agregados” al 6.3.10 “planta de tratamiento de solución de descarte”. El análisis incluye los

efectos de economía de escala clasificando los costos fijos y variables, así como los efectos de la aplicación de las propuestas de mejoramiento, resultado del diagnóstico de operaciones.

Asimismo, se incluye un análisis del valor agregado desde la extracción del mineral crudo hasta su conversión en cobre metálico comercial. Es decir, la cadena de producción incluyendo los procesos previos y posteriores a la planta Ovalle, con el objeto de verificar su participación en ella.

En la Figura 6-6 se muestra el diagrama de flujo del procesamiento de minerales óxidos de cobre del presente plan de ejecución.

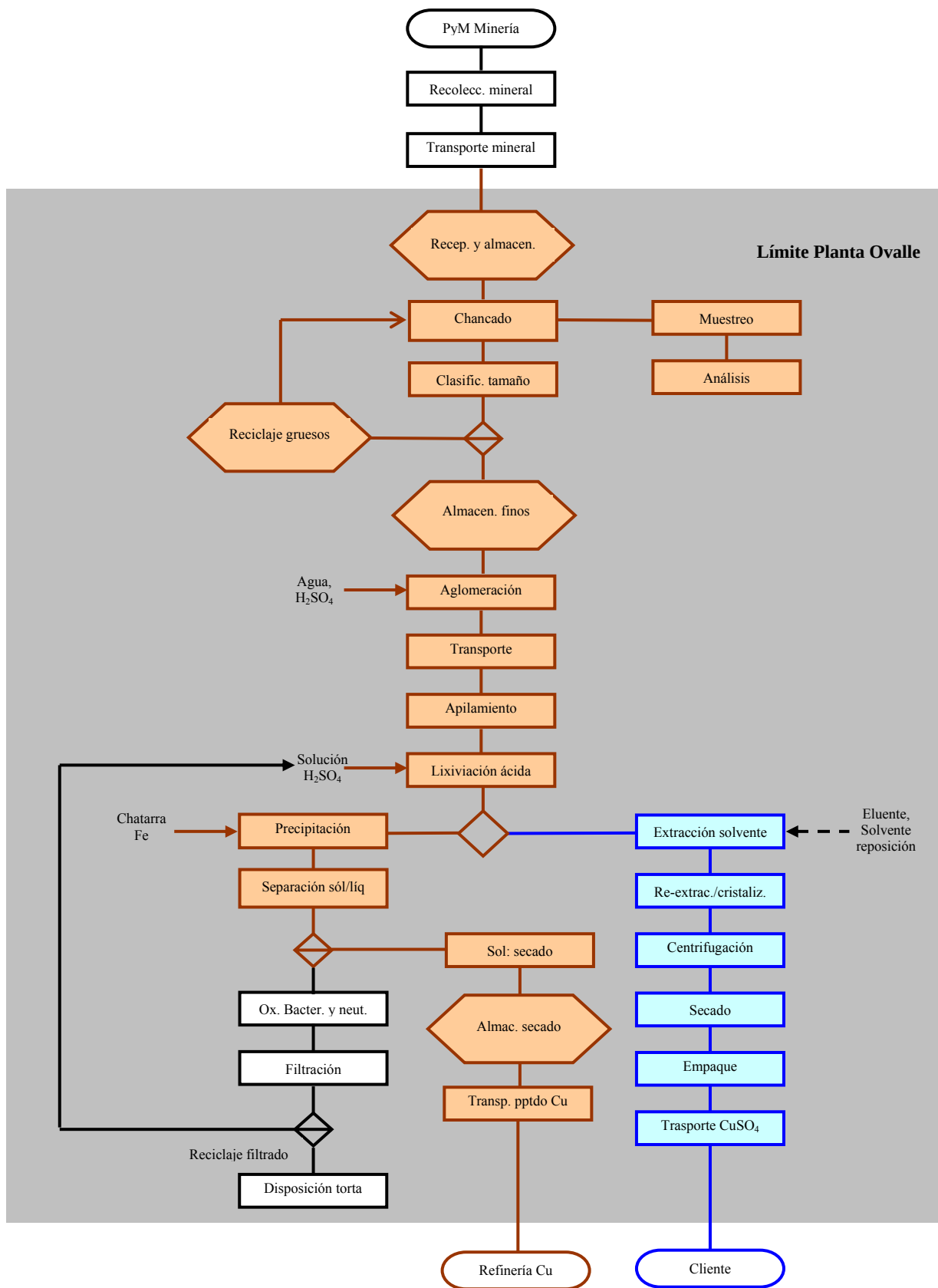


Figura 6-6 Futuro Procesamiento de Minerales Oxidos de Cobre en la Planta Ovalle

6.5 Análisis Financiero

Se analizaron los de flujos de caja descontados para los niveles de procesamiento de minerales óxidos de cobre en la planta Ovalle, que se muestran a continuación. Los resultados se adjuntan en el anexo del presente capítulo ⁶⁾.

- 6,000tms/mes, es decir el continuismo del actual proceso sin ampliación de la planta modelo de tratamiento de solución de descarte (sin proyecto)
- 8,000tms/mes
- 14,000tms/mes

Debido a que el principal factor del presente proyecto es la cotización del cobre, se analizaron escenarios para 80, 92 y 102¢/lb -según Normas y Procedimientos para la Presentación de Antecedentes de Proyectos de Inversión de CODELCO-Chile y de ENAMI para el año 2003- aparte del valor real registrado en enero de 2001.

El presente análisis abarca el flujo de caja operativo, debido a que el régimen tributario para la planta Ovalle corresponde al aplicado a ENAMI, una empresa estatal, siendo imposible la acumulación de ganancias y pérdidas al siguiente ejercicio contable. En consecuencia, se ha depreciado la influencia financiera por concepto de depreciación de activos fijos. Asimismo, siendo el presente proyecto la ampliación parcial de una actividad existente, se han depreciado los efectos de cambios de capital de trabajo al flujo de caja.

Por otro lado, con la finalidad de no involucrar los efectos de la producción de sulfato de cobre pentahidratado y la variabilidad del proceso de lixiviación secundaria, se fijaron como constantes los niveles actuales de producción de sulfato de 40tms/mes, y la razón de lixiviación secundaria con respecto a la primaria de 48%.

Se obtuvieron los valores actuales netos (VAN) y tasas internas de retorno (TIR) de los flujos de caja descontados al 14% -según Normas y Procedimientos para la Presentación de Antecedentes de Proyectos de Inversión de CODELCO-Chile y de ENAMI para el año 2003-.

Los resultados del análisis financiero se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6-11 Resultados del Análisis Financiero

Proyecto Caso	Cotización Cu (¢/lb)	Inversión inicial (mil US\$)	Cash cost* (¢/lb)	VAN _{14%} (mil US\$)	TIR (%)
6,000tms sin proyecto	68.2180	139	63.03	-3,484	irracional
6,000tms mejorado	68.2180	139	59.43	-2,998	irracional
6,000tms mejorado	80.00	139	59.43	-2,913	irracional
6,000tms mejorado	92.00	139	59.43	-2,818	irracional
6,000tms mejorado	102.00	139	59.43	-2,740	irracional
8,000tms mejorado	68.2180	499	52.70	-3,114	irracional
8,000tms mejorado	80.00	499	52.70	-2,999	irracional
8,000tms mejorado	92.00	499	52.70	-2,868	irracional
8,000tms mejorado	102.00	499	52.70	-2,761	irracional

⁶⁾ Nota: Los valores de TIR (tasa interna de retorno) de los cuadros “resultados de análisis” presentan valores “0” por error estructural del programa para los casos de resultados “irracional”.

Proyecto Caso	Cotización Cu (¢/lb)	Inversión inicial (mil US\$)	Cash cost* (¢/lb)	VAN _{14%} (mil US\$)	TIR (%)
14,000tms mejorado	68.2180	2,225	43.93	-3,776	irracional
14,000tms mejorado	80.00	2,225	43.93	-3,567	irracional
14,000tms mejorado	92.00	2,225	43.93	-3,331	irracional
14,000tms mejorado	102.00	2,225	43.93	-3,137	irracional

* Cash Cost correspondiente al primer año del proyecto (Costos operativos menos depreciación y costos financieros) [unidad en ¢/lb contenido Cu precipitado])

Como se observa en el anterior cuadro, todos los casos resultaron ser inviables. Se lograría una reducción del *cash cost* de aproximadamente 26% (59.43 → 43.93¢/lb) al aumentar la productividad del actual 6,000tms/mes a 14,000tms/mes; no obstante, no es suficiente para alcanzar el punto de equilibrio económico. La principal problemática consiste en los altos costos originados con la introducción de la planta de tratamiento de solución de descarte. Asimismo, del resultado del análisis de sensibilidad a la cotización del cobre, se observa que la fluctuación de este factor influye escasamente a los ingresos de la planta Ovalle bajo el vigente sistema de valorización de las operaciones. A pesar de un incremento en la cotización del cobre tan alto como del 50% (68.2180 → 102.00¢/lb), los efectos en el VAN fueron apenas entre 9 y 17% (6,000tms/mes: 9%, 8,000tms/mes: 11%, 14,000tms/mes: 17%). Obviamente, el análisis del TIR resulta irrelevante.

Ver cuadros “indicadores financieros”, “análisis de sensibilidad a la cotización del cobre” y “flujo de caja acumulado” de “resultados del análisis privado” adjuntos en el anexo del presente capítulo.

Por otro lado, de acuerdo a las condiciones de adquisición de minerales óxidos y precipitados de cobre de ENAMI, el costo del mineral crudo según la tarifa base sería 17.31¢/lb (precio del mineral crudo ÷ ley de mineral ÷ tasa de recuperación ÷ factor de conversión: 7.41US\$/tms ÷ 2.50% ÷ 77.68% ÷ 22.0462US\$-lb/¢-tm); del mismo modo, los cargos por fundición y refinación, respectivamente 3.18¢/lb (cargo por fundición × ley de precipitado × tasa de recuperación ÷ factor de conversión: 88US\$/tms × 83% × 96% ÷ 22.0462US\$-lb/¢/lb-tm) y 8.80¢/lb. En el siguiente cuadro se compila estos valores en forma conjunta con los *cash cost* de la planta Ovalle.

Cuadro 6-12 Valor Agregado en el Proceso de Producción de Cobre Metálico

	6,000tms/mes	8,000tms/mes	14,000tms/mes
Tarifa base mineral crudo (¢/lb)		17.31	
Cash Cost planta Ovalle (¢/lb)	59.43	52.70	43.93
Cargo fundición (¢/lb)		3.18	
Cargo refinación (¢/lb)		8.80	
Total (¢/lb)	88.72	81.99	73.22

Los valores totales del cuadro anterior son prácticamente los *cash cost* del proceso total para la obtención del cobre electrolítico en ENAMI; no obstante la diferencia con respecto a la metodología de análisis financiero descrito arriba, es posible inferir que la factibilidad de las

operaciones del procesamiento de minerales óxidos de cobre en la planta Ovalle, depende de la tasa de operaciones. Es decir, la cotización del cobre requerida para un nivel de procesamiento de 6,000tms/mes es de 88.72¢/lb y para un nivel de 14,000tms/mes sería de 73.22¢/lb.

Asimismo, cabe hacer énfasis en que, los cargos por fundición para el precipitado de cobre de 3.18¢/lb es relativamente alto con respecto al correspondiente valor para el concentrado en función al contenido de cobre metálico de 1.00¢/lb (carga por fundición × ley de concentrado × tasa de recuperación ÷ factor de conversión: $88\text{US\$}/\text{tms} \times 26.21\% \times 96\% \div 22.0462\text{US\$-lb}/\text{¢-tm}$). Esta diferencia de 2.18¢/lb es un factor que afecta considerablemente la continuidad de la producción de precipitados de cobre. Por otro lado, del presente análisis del valor agregado, se reconoció que la participación de costos de la planta Ovalle oscila entre 60 y 67% del total.

6.6 Análisis Económico

El análisis económico consiste en la evaluación social según las “Normas y Procedimientos para la Presentación de Antecedentes de Proyectos de Inversión de CODELCO-Chile y de ENAMI para el año 2003”, considerándose en él los conceptos de precios y tasa de descuento sociales; asimismo, la cuantificación de las externalidades del proyecto en la zona de influencia, resultado de aplicar una operación compatible con el medio ambiente en la planta Ovalle.

Como precios sociales se ajustaron los valores de ingresos generadores de divisas y costo de mano de obra semi-calificada con factores de 1.04 y 0.65 respectivamente. En consecuencia, los ingresos por las ventas de sulfato de cobre pentahidratado a Rumania y los costos de mano de obra directa para la producción fueron ajustados con sus correspondientes factores.

Además, se ajustaron los resultados del análisis financiero con una tasa de descuento social del 10% (según las “Normas y Procedimientos para la Presentación de Antecedentes de Proyectos de Inversión de CODELCO-Chile y de ENAMI para el año 2003”).

Por otro lado, se estimaron cuantitativamente, las externalidades producto del mejoramiento de la calidad de aguas y suelos post ejecución del plan de remediación de pasivos ambientales ocasionadas por las actividades pasadas en la planta Ovalle al cauce del estero El Ingenio.

En cuanto a la ejecución de este plan de remediación, tal como se describiera en el acápite 4.2.3 “costo de preservación ambiental” del Informe Interino del presente estudio, se requiere una inversión total de US\$1,251,300. Los detalles se muestran en el siguiente cuadro. Sin embargo, las obras inherentes directamente al mejoramiento del estero son: impermeabilización de pozas de evaporación (US\$222,200), disposición de sedimentos de hierro (US\$168,200) y restauración de suelos contaminados (US\$70,400); es decir una inversión de US\$460,800.

Cuadro 6-13 Inversión en Preservación Ambiental

Clasificación*	Monto Inversión** (US\$)
Costos en interior	1,180,900
Prevenición contaminación	1,012,700
• Ampliación pila	90,500
• Disposición ripios	700,000
• Impermeabilización pozas	222,200

Clasificación*	Monto Inversión** (US\$)
Reciclaje recursos • Disposición sedimento Fe	168,200
Remediación Restauración suelos	70,400
Total	1,251,300

*Clasificación según “Guía para la Introducción del Sistema de Contabilidad Ambiental” redactada por el Ministerio de Medio Ambiente del Japón, Marzo de 2000,

** Fuente: ENAMI, “Situación Ambiental en Planta Ovalle con Uso de la Capacidad Instalada, Valorización del Plan General de Actividades”, Junio 2000.

6.6.1 Externalidades del Mejoramiento Ambiental

Las externalidades producto del mejoramiento ambiental se refiere al beneficio económico posible de obtener con la práctica de operación compatible con el medio ambiente en la planta Ovalle. Para su cuantificación se suelen utilizar tanto métodos objetivos como subjetivos. En el presente caso se optó por el método subjetivo mediante aproximación hedónica (valorización de inmuebles)⁷⁾ adecuándose a los datos obtenidos durante el estudio.

De acuerdo a la información obtenida del SAG (Servicio Agrícola y Ganadero), la cuenca del río Limarí, principal en la zona de Ovalle, es el segundo contribuyente a la economía de la IV Región, seguido de la cuenca del río Elqui. En ella se extienden plantaciones de paltos, naranjos, viñas pisqueras y hortalizas; así como pastizales para el ganado. Hacia aguas arriba de la planta Ovalle del estero El Ingenio -tributario del Limarí-, la situación es similar. Según la institución, la contaminación de suelos debida a las actividades en la planta Ovalle, ha ocasionado un diferencial de valorización de terreno entre las zonas aguas arriba y aguas debajo de la misma. Es decir, en comparación con los valores de terreno aguas arriba de la planta Ovalle, registran valores 70% menores: se informa que 1 hectárea de terreno aguas abajo se valoriza en CH\$800,000, cuando un terreno de la misma extensión aguas arriba se cotiza en CH\$3,000,000.

La lógica de la aproximación mediante el método de valorización del terreno consiste en que “la diferencia de precios de dos terrenos próximos se debe comúnmente a una de las siguientes razones: por la diferencia de productividad unitaria o por los aspectos ambientales no cuantificables monetariamente”⁸⁾.

En consecuencia, la estimación de las externalidades producto del mejoramiento ambiental se calcularon bajo las siguientes condiciones:

- Incremento del valor del terreno mejorado: 2,200,000CH\$/Ha (4,000US\$/Ha al tipo de cambio 550CH\$/US\$)

⁷⁾ Hednic Approach, Property and other land-value method.

⁸⁾ Fuente: J.A.Dixon et al. “Economic Analysis of Environmental Impacts of Development Projects”, 2nd Edition. Asian Development Bank and The International Bank for Reconstruction and Development Copyright

- Area de influencia actual estimada: 200Ha (área estimada entre las pozas de evaporación de la planta Ovalle y el punto de monitoreo M-7 **【5km aguas abajo de la planta Ovalle】** , ver Figura 6-7 “Area de Impacto Estimado en la Cuenca del Estero El Ingenio”)
- Area de influencia estimada -futura- al no aplicar los mejoramientos ambientales: 400Ha (área estimada entre el punto de monitoreo M-7 y el punto de confluencia del estero El Ingenio con el río Limarí, ver Figura 6-7 “Area de Impacto Estimado en la Cuenca del Estero El Ingenio”)

Externalidades producto de la remediación de pasivos ambientales: $4,000\text{US\$}/\text{Ha} \times 200\text{Ha} = \text{US\$}800,000$.

Externalidades negativas al no aplicar los planes de mejoramiento ambiental (externalidades negativas producto de la contaminación latente por la ampliación del área de influencia): $4,000\text{US\$}/\text{Ha} \times (400\text{Ha} + 200\text{Ha}) = \text{US\$}2,400,000$.

6.6.2 Externalidades Pro Minas de la Zona de Influencia

Las externalidades producto de la permanencia de las operaciones en la planta Ovalle, son cuantificadas por los beneficios que se otorgan con el sistema de fomento a la pequeña y mediana minería por parte de ENAMI. Estas se obtienen estimando el valor agregado mediante la diferencia entre lo pagado por los minerales crudos abastecidos tal como se describe en el acápite 6.4.5 “valorización de minerales de cobre para lixiviación”, y los costos operativos incluyendo el transporte hasta la planta Ovalle.

Los costos de los operarios mineros se obtuvieron del informe del estudio realizado por SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería) sobre la minería artesanal⁹⁾. En ésta se reporta como mínimo para la IV Región, un valor de 5,600CH\$/tm. Ajustado el valor mediante el índice de precios al por mayor y el tipo de cambio vigente a diciembre de 2001, obteniéndose el siguiente resultado¹⁰⁾:

Costo de abastecimiento de minerales óxidos de cobre: $5,600\text{CH\$}/\text{tm} \times (177.69 \div 118.82) \div 544.63\text{CH\$}/\text{US\$} = 15.38\text{US\$}/\text{tm} \approx 15.50\text{US\$}/\text{tms}$.

En consecuencia, la cuantificación de las externalidades hacia las minas de la zona de influencia se destallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 6-14 Externalidades Pro Minas de la Zona de Influencia

Cotización Cu (US\$/lb)	Abastecimiento de mineral crudo: 6,000dmt/month (mil US\$/año)	Abastecimiento de mineral crudo: 8,000dmt/month (mil US\$/año)	Abastecimiento de mineral crudo: 14,000dmt/month (mil US\$/año)
68.2180	0	0	0
80.00	0	0	0
92.00	122	162	284
102.00	411	548	960

⁹⁾ Fuente: V. Concha. “*Diagnóstico Socioeconómico y Productivo de la Minería Artesanal*”. Departamento de Planificación y Estudios. SERNAGEOMIN. Santiago, julio 1 de 1994.

¹⁰⁾ Fuente: Banco Central de Chile (Índice de precios al por mayor a fines de 2001: 118.82 sobre la base de 100 para junio de 1992; dólar acuerdo promedio en diciembre de 2001: 544.63CH\$/US\$)

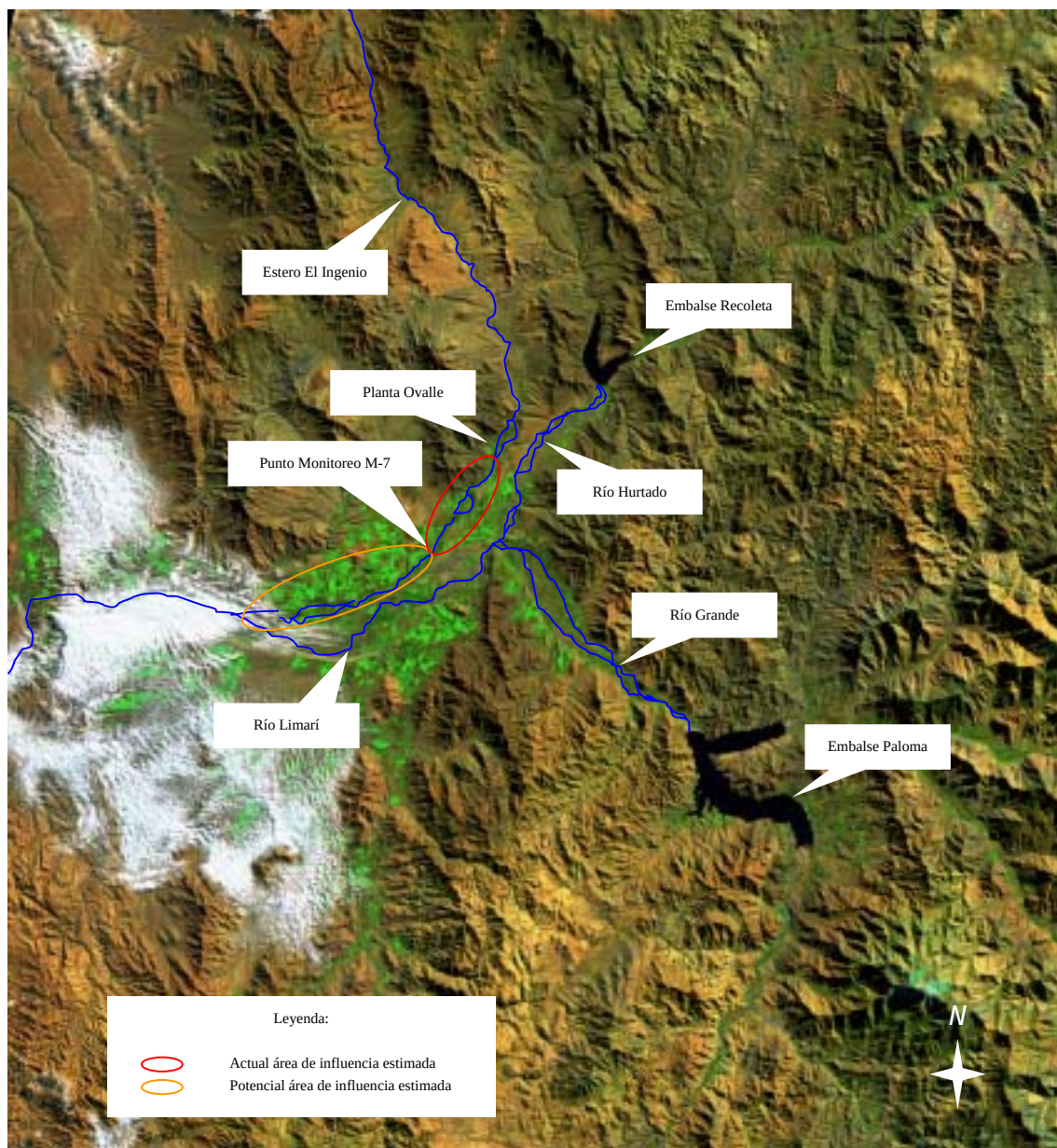


Figura 6-7 Área de Impacto Estimado en la Cuenca del Estero El Ingenio

6.6.3 Externalidades Producto de la Racionalización del Recurso Hídrico

La instalación de la planta de tratamiento de solución de descarte hizo factible la reutilización de la solución tratada. Es decir, gran parte del agua que antes era evaporada en las pozas de evaporación, es reutilizada reciclándola al circuito de lixiviación primaria. Debido a que los costos del agua son pagados en forma de cuotas -participación en derecho de uso de agua-, esta racionalización no surte gran efecto en el flujo de caja de la planta Ovalle; no obstante, los usuarios externos de agua (*stakeholders*) se verán beneficiados con una mayor disponibilidad de agua.

En la cuenca del río Limarí -confluente del estero El Ingenio- se cultivan 50,000Ha con aguas de éste y aguas provenientes del sistema de presas interconectadas (capacidad de almacenamiento: mil millones de m³: Paloma [750 millones m³] , Cogotí [150 millones m³] , Recoleta [100 millones m³]). Asimismo, la población de la ciudad de Ovalle se abastece de agua potable del río Limarí. En esta región, los derechos de agua son transados libremente, de modo que es posible estimar la voluntad de pago (*willingness to pay*) por el recurso hídrico.

Un estudio del Banco Mundial arrojó resultados de este valor estimándolo en 2.47US\$/m³-año¹¹⁾. Este valor se obtuvo, estimando el costo de oportunidad del uso de agua en la actividad agrícola de la cuenca del río Limarí. Actualizando el valor estimado en junio de 1993 a valores actuales de diciembre de 2001, se obtiene un valor de 2.95US\$ m³-año (2.47US\$/m³-año × [177.69 ÷ 109.93] × [403CH\$/US\$ ÷ 544.63CH\$/US\$])¹²⁾. En el siguiente cuadro se muestra los resultados de las estimaciones de estas externalidades en función al volumen de racionalización calculado con los datos de las especificaciones de la planta de tratamiento de solución de descarte descritas en el Cuadro 6-10 “costos de planta a escala de tratamiento de solución de descarte”.

Cuadro 6-15 Externalidades Producto de la Racionalización del Recurso Hídrico

Capacidad de Procesamiento de Mineral Crudo	6,000tms/mes	8,000tms/mes	14,000tms/mes
Generación de solución de descarte	250m ³ /día	330m ³ /día	600m ³ /día
Capacidad de reciclaje de solución tratada	176m ³ /día	297m ³ /día	540m ³ /día
Volumen de racionalización de agua	158m ³ /día	217m ³ /día	190m ³ /día
Externalidades (mil US\$/año)	168	230	202

Como se observa en el cuadro, en el caso de 6,000tms/mes de procesamiento de minerales, la racionalización corresponde al volumen total de reciclaje de agua, En cambio, los casos de

¹¹⁾ Fuente: Robert R. Hearne, K. William Easter. “*Water Allocation and Water Markets. An Analysis of Gains-from-Trade in Chile*” World Bank Technical Paper 315. The World Bank. Washington, D.C. December 1995.

¹²⁾ Fuente: Banco Central de Chile (Índice de precios al por mayor a junio de 1993: 177.69 y a fines de 2001: 177.69 sobre la base de 100 para junio de 1992; dólar acuerdo promedio en diciembre de 2001: 544.63CH\$/US\$)

8,000 y 14.000tms/mes de procesamiento, la racionalización corresponde a la diferencia entre el volumen reciclado menos la adición complementaria de agua fresca al proceso, debido al incremento de la producción.

6.6.4 Compilación de Externalidades

La evaluación social del proyecto consideró los beneficios de estas externalidades que no se superponen entre sí. A continuación se compilan las externalidades materia de adición. Los resultados del análisis se adjuntan el anexo del presente capítulo.

- Valor actual neto de la externalidad producto de la revalorización de las 200Ha de terreno en la cuenca del estero El Ingenio (mejoramiento de área estimada entre las pozas de evaporación de la planta Ovalle y el punto de monitoreo M-7 【5km aguas abajo de la planta Ovalle】)
- Anualidad de la externalidad pro mineros de la zona de influencia, producto de la permanencia de las operaciones de procesamiento de minerales óxidos en la planta Ovalle.
- Anualidad de la externalidad pro usuarios de agua en la cuenca del río Limarí, producto de la racionalización del recurso hídrico, mediante la reutilización de solución tratada en el circuito de lixiviación.

En el siguiente cuadro se compila la valorización de las externalidades.

Cuadro 6-16 Valorización de Externalidades

Externalidad (economía externa)	Año 0 (mil US\$)	Años 1 al 15 (mil US\$/año)
Producto del mejoramiento ambiental	800,000	0
Pro mineros de la zona de influencia*		
6,000tms/mes, 92.00¢/lb	0	122
6,000tms/mes, 102.00¢/lb	0	411
8,000tms/mes, 92.00¢/lb	0	162
8,000tms/mes, 102.00¢/lb	0	548
14,000tms/mes, 92.00¢/lb	0	284
14,000tms/mes, 102.00¢/lb	0	960
Producto de la racionalización del recurso hídrico**		
6,000tms/mes	0	168
8,000tms/mes	0	230
14,000tms/mes	0	202

* Los valores de la externalidad varían en función al nivel de procesamiento de mineral crudo y cotización del cobre.

** Los valores de la externalidad varían en función al nivel de procesamiento de mineral crudo.

En el siguiente cuadro se muestra los resultados del análisis económico.

Cuadro 6-17 Resultados del Análisis Económico

Proyecto Caso	Cotización Cu (¢/lb)	Inversión inicial (mil US\$)	Cash cost* (¢/lb)	VAN _{10%} (mil US\$)	TIR (%)
6,000tms c/externalidad	68.2180	600	54.31	-776	53.68%
6,000tms c/externalidad	80.00	600	54.31	-672	47.44%
6,000tms c/externalidad	92.00	600	54.31	370	irracional
6,000tms c/externalidad	102.00	600	54.31	2,671	irracional

Proyecto Caso	Cotización Cu (¢/lb)	Inversión inicial (mil US\$)	Cash cost* (¢/lb)	VAN _{10%} (mil US\$)	TIR (%)
8,000tms c/externalidad	68.2180	960	48.13	-92	irracional
8,000tms c/externalidad	80.00	960	48.13	51	24.92%
8,000tms c/externalidad	92.00	960	48.13	1,445	153.14%
8,000tms c/externalidad	102.00	960	48.13	4,516	407.54%
14,000tms c/externalidad	68.2180	2,686	39.92	105	11.10%
14,000tms c/externalidad	80.00	2,686	39.92	364	13.68%
14,000tms c/externalidad	92.00	2,686	39.92	2,814	33.88%
14,000tms c/externalidad	102.00	2,686	39.92	8,197	72.64%

* Cash Cost correspondiente al primer año del proyecto (Costos operativos menos depreciación y costos financieros) [unidad en ¢/lb contenido Cu precipitado])

En el cuadro anterior se observa que los resultados para un nivel de procesamiento de 6,000tms/mes arrojaron valores negativos del VAN para escenarios de cotización del cobre menores al 80.00¢/lb; siendo socialmente inviables. En cambio, a cotizaciones mayores de 92.00¢/lb, arrojaron valores positivos de VAN y valores irracionales de TIR. Ello se debe a que el caso no requiere una inversión inicial alta ya que no se realiza la ampliación de la planta de tratamiento de solución de descarte, y se supera el punto de equilibrio económico durante la vida del proyecto. Según estos resultados, para cotizaciones del cobre menores de 80.00¢/lb, se deberá optar por ejecutar las obras de remediación de pasivos ambientales y suspender las operaciones; en cambio, para escenarios con cotizaciones mayores al 92.00¢/lb, son factibles socialmente.

Del mismo cuadro, para niveles de procesamiento de 8,000tms/mes, bajo cotizaciones del cobre por encima del 80.00¢/lb, los valores del VAN son positivos y TIR anómalamente grandes. Este resultado se debe a los altos beneficios al inicio del proyecto, por los efectos de las externalidades y la superación del punto de equilibrio económico durante la vida del proyecto. En consecuencia es socialmente factible para cotizaciones del cobre mayores de 80.00¢/lb.

Del mismo modo, para procesamiento a capacidad instalada total de 14,000tms/mes, los valores del VAN fueron positivos y TIR mayores a la tasa de descuento social (10%), para todos los escenarios analizados. Ello se debe a que se alcanza el punto de equilibrio económico durante la vida del proyecto. Es posible beneficiarse de la economía de escala y es ampliamente viable desde el punto de vista social. Obviamente, a mayores cotizaciones del cobre las condiciones mejoran extensamente. Efectivamente, del análisis del retorno de la inversión, se tuvo que el retorno de la inversión se obtendría entre 2 años (para cotizaciones de cobre mayores de 102.00¢/lb) y 13 años (para cotizaciones de cobre de 68.2180¢/lb) de operaciones.

Ver cuadros “indicadores financieros”, “análisis de sensibilidad a la cotización del cobre” y “flujo de caja acumulado” de “resultados del análisis social” adjuntos en el anexo del presente capítulo.

6.7 Efecto Económico para Productores de Precipitado de Cobre (Terceros)

Con el objeto de reconocer la conveniencia del productor de precipitados de cobre, y del sistema de valorización de ENAMI; se analizó el valor agregado en producirlos a partir de minerales óxidos de cobre, bajo las siguientes condiciones:

- El valor agregado se definió como la diferencia entre las tarifas base de precipitado de cobre y minerales para lixiviación.
- La ley de mineral se estableció en 2.5% y el consumo de ácido sulfúrico en 4.98kg/kg, valores correspondientes para las tarifas base.
- La tasa de recuperación del cobre se estableció en 77.68%, valor parámetro de la planta estándar definido por ENAMI para la valorización del proceso de producción de precipitados de cobre en sus plantas.

En el Cuadro 6-18 “cálculo del valor agregado de los precipitados de cobre producidos por terceros” se muestra los costos unitarios (conversión de tarifa ENAMI en función al peso de precipitado de cobre), condiciones de adquisición de precipitados de cobre según tarifa de ENAMI y los valores agregados (diferencia entre las tarifas base de precipitado de cobre y minerales para lixiviación) del precipitado de cobre en función a la ley de cobre (65-85%). También se presenta en el cuadro los *cash cost* en función al peso de precipitado de cobre de la plata Ovalle como referencia. Asimismo, en la Figura 6-8 “valor agregado del precipitado del cobre en función a la ley” se muestra la relación lineal entre la ley de cobre y el valor agregado del precipitado planteada con los datos del cuadro anterior.

De lo anterior se observa que los valores agregados del precipitado de cobre son menores a los *cash cost* de la planta Ovalle (mientras los *cash cost* oscilan entre 780 y 1,240US\$/tms, los valores agregados se estimaron entre 150 y 720US\$/tms). Asimismo, que el productor de precipitados no obtiene beneficios de una supuesta mejora de los precios del cobre, ya que la valorización de ENAMI favorece relativamente a los productores de los minerales crudos (como se observa en la figura, el valor agregado del precipitado de cobre tiene una relación inversa con respecto a la cotización del cobre).

En consecuencia, de acuerdo a las condiciones vigentes, y de continuar sin modificación la valorización por parte de ENAMI, es más beneficioso abastecer minerales crudos sin otorgarle valor agregado que en forma de precipitado. Es decir, el procesamiento de minerales óxidos para producir precipitados de cobre es una actividad que no genera valor agregado.

Cuadro 6-18 Cálculo del Valor Agregado de los Precipitados de Cobre Producidos por Terceros

	Precio Cu (¢ /lb)	68.218	80	92	102
Mineral óxido de cobre	Unidad				
Tarifa base	US\$/tms	7.41	12.07	17.19	21.21
Premio por ley de Cu	US\$/%-tms	7.48	9.34	11.39	13.00
Premio por ácido	US\$/%-tms	0.27	0.27	0.27	0.27
Subsidio predio Cu	US\$/%-tms	2.33	0.32	0.00	0.00
Costo unitario mineral	US\$/tmsCement Cu	381.69	621.29	885.05	1,092.29
Precipitado de cobre					
Tarifa base	US\$/tms	778.16	933.90	1,105.34	1,240.05
Premio por ley de Cu	US\$/%-tms	13.33	15.72	18.36	20.43
Subsidio predio Cu	US\$/%-tms	3.00	0.41	0.00	0.00
Ley de cobre en pptado.		Valor agregado precipitado de Cu			
65%	US\$/tms	396.47	312.61	220.30	147.76
70%	US\$/tms	478.08	393.25	312.09	249.92
75%	US\$/tms	559.68	473.88	403.89	352.08
80%	US\$/tms	641.29	554.52	495.68	454.23
85%	US\$/tms	722.89	635.16	587.48	556.39
Cash Cost planta Ovalle					
6000tms/mes	¢ /lb _{Cu-content}	59.43	59.43	59.43	59.43
8000tms/mes	¢ /lb _{Cu-content}	52.70	52.70	52.70	52.70
14000tms/mes	¢ /lb _{Cu-content}	43.93	43.93	43.93	43.93
6000tms/mes	US\$/tms	1,579	1,579	1,579	1,579
8000tms/mes	US\$/tms	1,400	1,400	1,400	1,400
14000tms/mes	US\$/tms	1,167	1,167	1,167	1,167

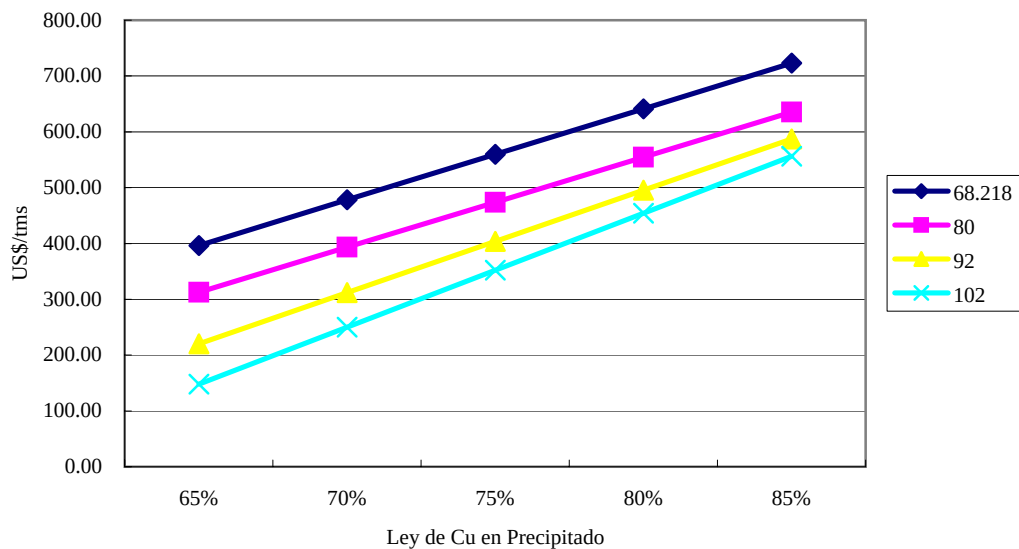


Figura 6-8 Valor Agregado del Precipitado de Cobre en Función a la Ley

6.8 Conclusiones del Análisis Económico-Financiero

A continuación se compilan las conclusiones y propuestas de los resultados del análisis económico-financiero.

6.8.1 Mejoramiento del procesamiento de minerales óxidos de cobre

A pesar que según el análisis convencional mediante los indicadores financieros VAN y TIR, arrojaron resultados inviables, se observa que, con la aplicación de los mejoramientos del proceso sería posible reducir considerablemente los *cash cost*. Por otro lado, de la evaluación social considerando las externalidades a las operaciones de la planta Ovalle, se obtuvo que incluso a bajas cotizaciones del cobre sería factible una operación procesando 14,000tms/mes.

6.8.2 Aseguramiento del abastecimiento estable de minerales óxidos de cobre

El mejoramiento descrito arriba no sería posible con un abastecimiento estable de los minerales óxidos de cobre. Para su consecución se requiere establecer vínculos de cooperación con las minas de la zona de influencia y/o desarrollar zonas de extracción propias de ENAMI. Sin embargo, para ello será necesario analizar la modificación estatutaria de los objetivos de la institución.

Por otro lado, de los resultados del análisis del valor agregado se reconoció que en términos del contenido de cobre, el costo de abastecimiento del mineral crudo es de 17.31¢/lb, con una participación del 20% en el costo total del proceso de producción del cobre electrolítico. En consecuencia, una eventual reducción de costos será factible en cuanto este costo unitario fijo se convierta en variable. Esta situación sería posible también con la explotación directa de minas como parte de las actividades de la Compañía Minera Panulcillo.

Si bien el principal objeto de ENAMI consiste en el fomento de la pequeña y mediana minería, en la coyuntura actual de bajas cotizaciones del cobre viendo disminuir el abastecimiento de minerales crudos; se propone analizar la introducción de una política de “generación de empleo basado en el desarrollo regional” sustentable con la original “fomento a la pequeña y mediana minería”. Especialmente, en zonas donde prácticamente no son viables otras actividades sino la minería, desarrollar sus propios prospectos de explotación con la finalidad de generar mayor empleo en éstas.

6.8.3 Escalamiento de la planta de tratamiento de solución de descarte

Como resultado del presente análisis se tiene que es imprescindible la ampliación de las operaciones en la planta Ovalle. Por ende, con el incremento del procesamiento de minerales óxidos de cobre, se tendría una mayor generación de solución de descarte; razón por la cual se requeriría un escalamiento de la planta de tratamiento.

Asimismo, mediante el reciclaje de la solución tratada en esta planta al circuito de lixiviación sería posible racionalizar el consumo de agua en el proceso. Su efecto a la planta Ovalle es poca, no obstante sería una gran externalidad en beneficio de los usuarios de agua en la cuenca del río Limarí.

6.8.4 Restauración de pasivos ambientales

Los problemas de contaminación de aguas y suelos ocasionados por la no-práctica de una operación compatible con el medio ambiente en el pasado, requieren ser resueltos mediante las obras de restauración de suelos. Estas obras deberán ejecutarse en forma independiente a los planes de escalamiento de la planta de tratamiento de solución de descarte. Los beneficios esperados de este mejoramiento son considerables para los habitantes de la cuenca del estero El Ingenio.

6.8.5 Incremento de producción del sulfato de cobre pentahidratado

El incremento de la producción del sulfato de cobre contribuirá a reducir la generación de solución de descarte y a la diversificación de productos en la planta Ovalle. Este incremento deberá ser analizado con un estudio de mercado a largo plazo.

6.8.6 Estudio de factibilidad para la comercialización de sedimentos

Se recomienda realizar un estudio para la comercialización de los sedimentos generados en el tratamiento de solución de descarte. A la vez que contribuiría con mayor diversificación de productos en la planta Ovalle, desarrollaría una fuente de financiamiento de los costos de preservación ambiental generada en la planta de tratamiento.

6.8.7 Análisis de modificación en el sistema de valorización de productos y procesos

De los resultados del análisis del valor agregado para la producción del cobre electrolítico, se reconoció que la participación del costo para el procesamiento del precipitado de cobre abarca la mayor parte del costo total. Por ende, se infiere que el sistema de distribución de los ingresos debería ser modificado acorde a la participación en los costos. Especialmente, la tarifa para el precipitado de cobre y la valorización de maquila para los procesos de producción de éstos a partir de minerales óxidos en las plantas de ENAMI (incluyendo a la planta Ovalle).

En la siguiente Figura se muestra la interrelación de las propuestas con los beneficios esperados.

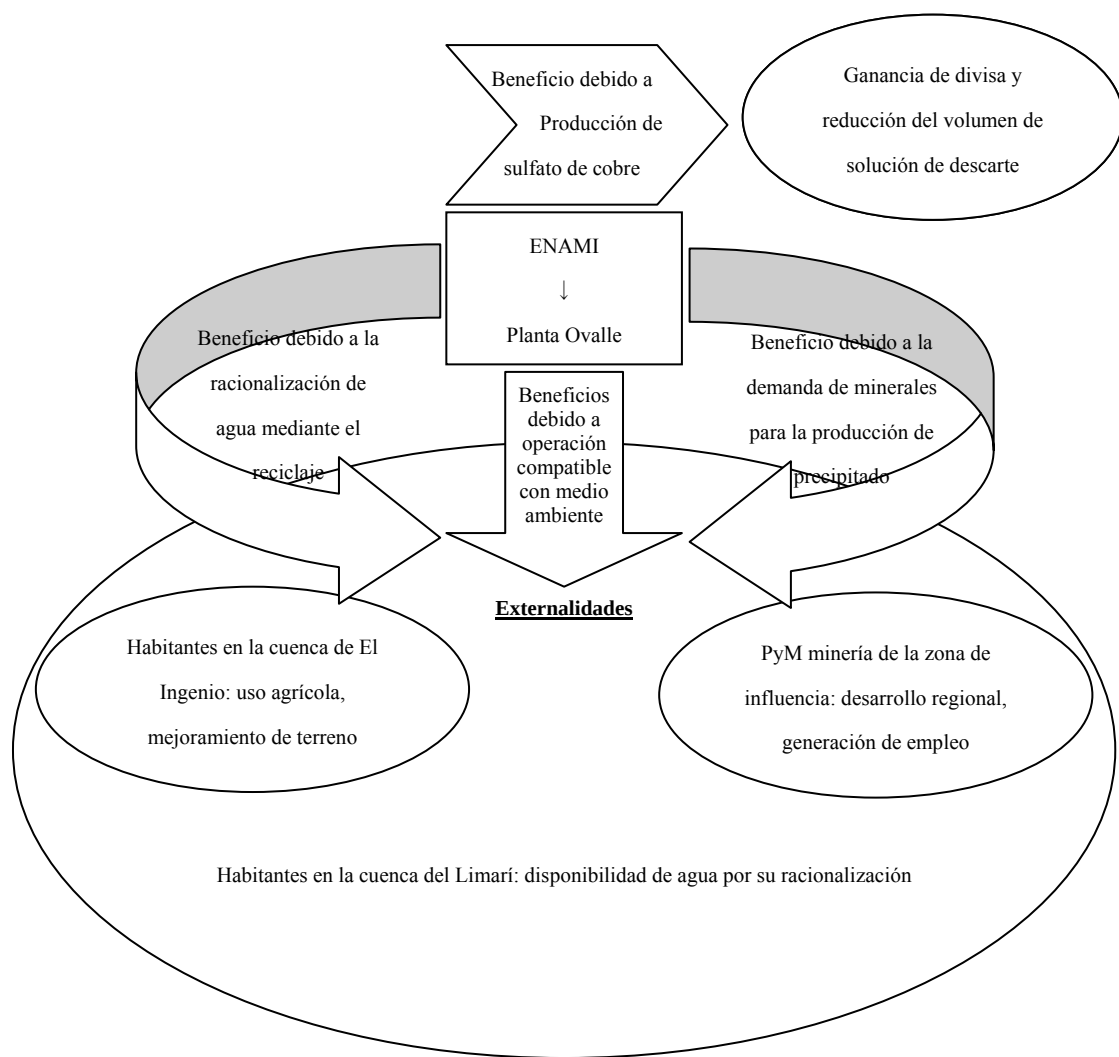


Figura 6-9 Interrelación Propuesta-Beneficio

ANEXO

- Ejemplo de hoja de datos de ingresos para el análisis del flujo de caja
- Ejemplo de hoja de datos de egresos para el análisis del flujo de caja
- Ejemplo de resultados del análisis de flujo de caja para el caso de procesamiento de 6,000tms/mes
- Resultados del Análisis privado para procesamiento de 6,000tms/mes
- Resultados del Análisis privado para procesamiento de 8,000tms/mes
- Resultados del Análisis privado para procesamiento de 14,000tms/mes
- Resultados del Análisis social para procesamiento de 6,000tms/mes
- Resultados del Análisis social para procesamiento de 8,000tms/mes
- Resultados del Análisis social para procesamiento de 14,000tms/mes

Datos de Ingresos

Cargo compra	1.28 US\$/tms
Peso seco compra	6000 tms/mes

Cargo chancado	1.91 US\$/tms
Peso seco chancado	6000 tms/mes

Cargo fijo beneficio	8.1 US\$/tms
Cargo variable beneficio	4.87 US\$/tms
Base cargo variable	1.965
Ley Cu soluble	2.48 %
Peso seco beneficio	6000 tms/mes
para producción pptdo	5340 tms/mes
para producción sulfato	660 tms/mes

Precio ex-works sulfato	98 US ¢ /lb _{Cu}
Despacho sulfato	40 tm/mes

	Estamento Planta Estándar	Resultados Planta Ovalle
Precio Cu	68.2180 US ¢ /lb	68.2180 US ¢ /lb
Tasa recuperación Cu	77.68%	77.30%
Ley Cu en pptdo	75.50%	82.90%
Producción pptdo	136 tms/mes	123 tms/mes
Contenido Cu en pptdo	103 tmf/mes	102 tmf/mes
Pérdida metalúrgica Cu	4.00%	4.00%
Cargo fundición	88.00 US\$/tms	88.00 US\$/tms
Base cargo refino Cu	8.80 US ¢ /lb	8.80 US ¢ /lb
Cargo refino Cu	7.62 US ¢ /lb	7.62 US ¢ /lb
Valorización proceso	119,943 US\$/mes	120,421 US\$/mes
Balance valorización		478 US\$/mes

Leyenda:

Valores en color rojo:	Condiciones pre-establecidas
Valores en color azul:	Parámetros de operación según Planta Estándar definida por ENAMI
Valores en color negro:	Valor calculado

Datos de Egresos

Inversión activo fijo	139,000 US\$
Proceso de pptado	100,000 US\$
Proceso de sulfato	0 US\$
Solución descarte	39,000 US\$

Planta tratamiento solución descarte	
Costo operativo	182,000 US\$

Tasa lixiviación secundaria	0.48
-----------------------------	------

Insumos complementarios	
H ₂ SO ₄ : lixiviación primaria	5.24 US\$/tms
H ₂ SO ₄ : lixiviación secundaria	1.36 US\$/tms
Chatarra: lixiviación primaria	1.01 US\$/tms
Chatarra: lixiviación secundaria	0.21 US\$/tms

Material y mantenimiento	Fijo		Variable
Recepción mineral	0.07 US\$/tms	5,040 US\$/año	0.04 US\$/tms
Chancado	0.16 US\$/tms	11,520 US\$/año	0.20 US\$/tms
Lixiviación primaria	0.73 US\$/tms	52,560 US\$/año	0.43 US\$/tms
Lixiviación secundaria	0.01 US\$/tms	720 US\$/año	0.0009 US\$/tms

Servicios	Fijo		Variable
Recepción mineral	0.00 US\$/tms	0 US\$/año	0.06 US\$/tms
Chancado	0.00 US\$/tms	0 US\$/año	0.004 US\$/tms
Lixiviación primaria	0.02 US\$/tms	1,440 US\$/año	0.15 US\$/tms
Lixiviación secundaria	0.00 US\$/tms	0 US\$/año	0.12 US\$/tms

Costos administrativos	Fijo		Variable
Recepción mineral	1.30 US\$/tms	93,600 US\$/año	0.0007 US\$/tms
Chancado	0.35 US\$/tms	25,200 US\$/año	0.00 US\$/tms
Lixiviación primaria	4.55 US\$/tms	327,600 US\$/año	0.20 US\$/tms
Lixiviación secundaria	0.00 US\$/tms	0 US\$/año	0.02 US\$/tms

Recursos humanos	Fijo		Variable
Recepción mineral	0.34 US\$/tms	24,480 US\$/año	0.42 US\$/tms
Chancado	0.20 US\$/tms	14,400 US\$/año	0.44 US\$/tms
Lixiviación primaria	1.35 US\$/tms	97,200 US\$/año	2.45 US\$/tms
Lixiviación secundaria	0.00 US\$/tms	0 US\$/año	1.32 US\$/tms

Costo unitario producción CuSC	280 US\$/tms
Producción CuSO ₄	40 tm/mes

Legenda:

Valores en color rojo:	Condiciones pre-establecidas
Valores en color verde:	Resultados de Planta Ovalle en 2001
Valores en color negro:	Valor calculado

Año	0	1	2	3
Unidad: US\$ fijos Dic. 2001				
Inversión activo fijo	139,000	100,000	100,000	100,000
Cargo compra		92,160	92,160	92,160
Cargo chancado		137,520	137,520	137,520
Cargo beneficio		934,070	934,070	934,070
Valorización neta ppto		5,740	5,740	5,740
Venta sulfato		269,634	269,634	269,634
Ingreso Total		1,439,124	1,439,124	1,439,124
Planta tratamiento solución descarte		182,000	182,000	182,000
Insumos complementarios		504,259	504,259	504,259
H ₂ SO ₄ : lixiviación primaria		377,280	377,280	377,280
H ₂ SO ₄ : lixiviación secundaria		47,002	47,002	47,002
Chatarra: lixiviación primaria		72,720	72,720	72,720
Chatarra: lixiviación secundaria		7,258	7,258	7,258
Materiales y mantenimiento planta		118,111	118,111	118,111
Recepción mineral		7,920	7,920	7,920
Chancado		25,920	25,920	25,920
Lixiviación primaria		83,520	83,520	83,520
Lixiviación secundaria		751	751	751
Servicios		20,995	20,995	20,995
Recepción mineral		4,320	4,320	4,320
Chancado		288	288	288
Lixiviación primaria		12,240	12,240	12,240
Lixiviación secundaria		4,147	4,147	4,147
Costos administrativos		461,542	461,542	461,542
Recepción mineral		93,650	93,650	93,650
Chancado		25,200	25,200	25,200
Lixiviación primaria		342,000	342,000	342,000
Lixiviación secundaria		691	691	691
Recursos humanos		420,019	428,420	436,988
Recepción mineral		54,720	55,814	56,931
Chancado		46,080	47,002	47,942
Lixiviación primaria		273,600	279,072	284,653
Lixiviación secundaria		45,619	46,532	47,462
CuSO ₄ plant expenses		134,400	134,400	134,400
Egreso Total	139,000	1,941,326	1,949,727	1,958,295
Resultado anual (nominal)	(139,000)	(502,202)	(510,602)	(519,171)
Resultado anual (descontado)	(139,000)	(440,528)	(392,892)	(350,425)
Resultado acumulado (nominal)	(139,000)	(641,202)	(1,151,804)	(1,670,975)
Resultado acumulado (descontado)	(139,000)	(579,528)	(972,420)	(1,322,845)

VPN _(14%)	-US\$3,483,980
TIR	#DIV/0!
Cash Cost	63.03 US ¢ /lb

Año	4	5	6	7
Unidad: US\$ fijos Dic. 2001				
Inversión activo fijo	100,000	100,000	100,000	100,000
Cargo compra	92,160	92,160	92,160	92,160
Cargo chancado	137,520	137,520	137,520	137,520
Cargo beneficio	934,070	934,070	934,070	934,070
Valorización neta ppto	5,740	5,740	5,740	5,740
Venta sulfato	269,634	269,634	269,634	269,634
Ingreso Total	1,439,124	1,439,124	1,439,124	1,439,124
Planta tratamiento solución descarte	182,000	182,000	182,000	182,000
Insumos complementarios	504,259	504,259	504,259	504,259
H ₂ SO ₄ : lixiviación primaria	377,280	377,280	377,280	377,280
H ₂ SO ₄ : lixiviación secundaria	47,002	47,002	47,002	47,002
Chatarra: lixiviación primaria	72,720	72,720	72,720	72,720
Chatarra: lixiviación secundaria	7,258	7,258	7,258	7,258
Material y mantenimiento planta	118,111	118,111	118,111	118,111
Recepción mineral	7,920	7,920	7,920	7,920
Chancado	25,920	25,920	25,920	25,920
Lixiviación primaria	83,520	83,520	83,520	83,520
Lixiviación secundaria	751	751	751	751
Servicios	20,995	20,995	20,995	20,995
Recepción mineral	4,320	4,320	4,320	4,320
Chancado	288	288	288	288
Lixiviación primaria	12,240	12,240	12,240	12,240
Lixiviación secundaria	4,147	4,147	4,147	4,147
Costos administrativos	461,542	461,542	461,542	461,542
Recepción mineral	93,650	93,650	93,650	93,650
Chancado	25,200	25,200	25,200	25,200
Lixiviación primaria	342,000	342,000	342,000	342,000
Lixiviación secundaria	691	691	691	691
Recursos humanos	445,728	454,642	463,735	473,010
Recepción mineral	58,069	59,231	60,415	61,624
Chancado	48,900	49,878	50,876	51,894
Lixiviación primaria	290,347	296,153	302,077	308,118
Lixiviación secundaria	48,411	49,380	50,367	51,375
CuSO ₄ plant expenses	134,400	134,400	134,400	134,400
Egreso Total	1,967,035	1,975,949	1,985,042	1,994,317
Resultado anual (nominal)	(527,910)	(536,825)	(545,918)	(555,193)
Resultado anual (descontado)	(312,565)	(278,810)	(248,713)	(221,876)
Resultado acumulado (nominal)	(2,198,885)	(2,735,710)	(3,281,628)	(3,836,821)
Resultado acumulado (descontado)	(1,635,411)	(1,914,221)	(2,162,933)	(2,384,809)

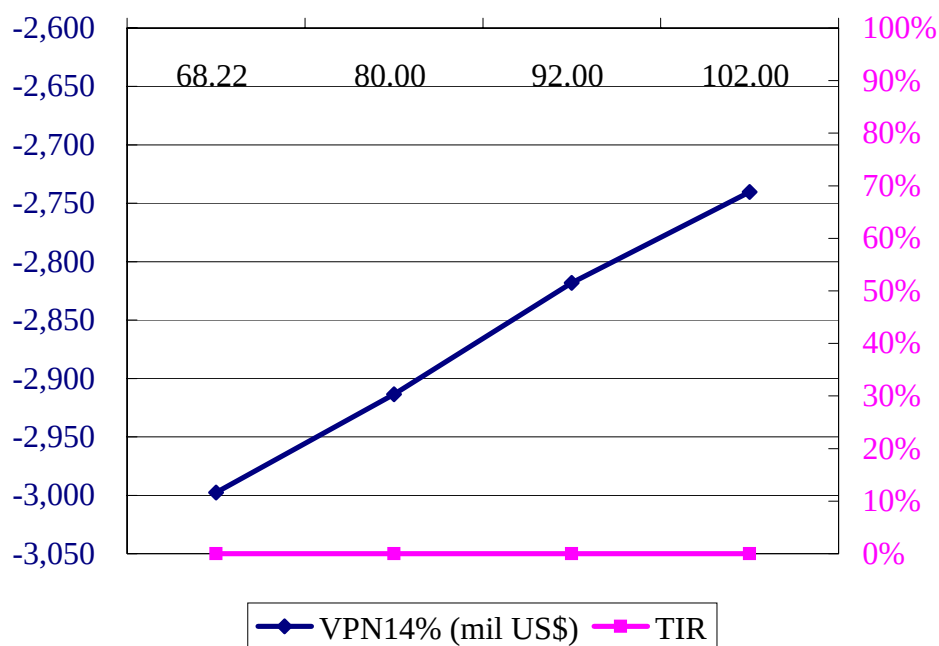
Año	8	9	10	11
Unidad: US\$ fijos Dic. 2001				
Inversión activo fijo	100,000	100,000	100,000	100,000
Cargo compra	92,160	92,160	92,160	92,160
Cargo chancado	137,520	137,520	137,520	137,520
Cargo beneficio	934,070	934,070	934,070	934,070
Valorización neta ppto	5,740	5,740	5,740	5,740
Venta sulfato	269,634	269,634	269,634	269,634
Ingreso Total	1,439,124	1,439,124	1,439,124	1,439,124
Planta tramiento solución descarte	182,000	182,000	182,000	182,000
Insumos complementarios	504,259	504,259	504,259	504,259
H ₂ SO ₄ : lixiviación primaria	377,280	377,280	377,280	377,280
H ₂ SO ₄ : lixiviación secundaria	47,002	47,002	47,002	47,002
Chatarra: lixiviación primaria	72,720	72,720	72,720	72,720
Chatarra: lixiviación secundaria	7,258	7,258	7,258	7,258
Material y mantenimiento planta	118,111	118,111	118,111	118,111
Recepción mineral	7,920	7,920	7,920	7,920
Chancado	25,920	25,920	25,920	25,920
Lixiviación primaria	83,520	83,520	83,520	83,520
Lixiviación secundaria	751	751	751	751
Servicios	20,995	20,995	20,995	20,995
Recepción mineral	4,320	4,320	4,320	4,320
Chancado	288	288	288	288
Lixiviación primaria	12,240	12,240	12,240	12,240
Lixiviación secundaria	4,147	4,147	4,147	4,147
Costos administrativos	461,542	461,542	461,542	461,542
Recepción mineral	93,650	93,650	93,650	93,650
Chancado	25,200	25,200	25,200	25,200
Lixiviación primaria	342,000	342,000	342,000	342,000
Lixiviación secundaria	691	691	691	691
Recursos humanos	482,470	492,119	501,962	512,001
Recepción mineral	62,856	64,113	65,395	66,703
Chancado	52,931	53,990	55,070	56,171
Lixiviación primaria	314,280	320,566	326,977	333,517
Lixiviación secundaria	52,402	53,450	54,519	55,610
CuSO ₄ plant expenses	134,400	134,400	134,400	134,400
Egreso Total	2,003,777	2,013,427	2,023,269	2,033,308
Resultado anual (nominal)	(564,653)	(574,302)	(584,145)	(594,184)
Resultado anual (descontado)	(197,944)	(176,602)	(157,569)	(140,594)
Resultado acumulado (nominal)	(4,401,473)	(4,975,775)	(5,559,920)	(6,154,104)
Resultado acumulado (descontado)	(2,582,753)	(2,759,356)	(2,916,925)	(3,057,519)

Año	12	13	14	15
Unidad: US\$ fijos Dic. 2001				
Inversión activo fijo	100,000	100,000	100,000	100,000
Cargo compra	92,160	92,160	92,160	92,160
Cargo chancado	137,520	137,520	137,520	137,520
Cargo beneficio	934,070	934,070	934,070	934,070
Valorización neta ppto	5,740	5,740	5,740	5,740
Venta sulfato	269,634	269,634	269,634	269,634
Ingreso Total	1,439,124	1,439,124	1,439,124	1,439,124
Planta tramiento solución descarte	182,000	182,000	182,000	182,000
Insumos complementarios	504,259	504,259	504,259	504,259
H ₂ SO ₄ : lixiviación primaria	377,280	377,280	377,280	377,280
H ₂ SO ₄ : lixiviación secundaria	47,002	47,002	47,002	47,002
Chatarra: lixiviación primaria	72,720	72,720	72,720	72,720
Chatarra: lixiviación secundaria	7,258	7,258	7,258	7,258
Material y mantenimiento planta	118,111	118,111	118,111	118,111
Recepción mineral	7,920	7,920	7,920	7,920
Chancado	25,920	25,920	25,920	25,920
Lixiviación primaria	83,520	83,520	83,520	83,520
Lixiviación secundaria	751	751	751	751
Servicios	20,995	20,995	20,995	20,995
Recepción mineral	4,320	4,320	4,320	4,320
Chancado	288	288	288	288
Lixiviación primaria	12,240	12,240	12,240	12,240
Lixiviación secundaria	4,147	4,147	4,147	4,147
Costos administrativos	461,542	461,542	461,542	461,542
Recepción mineral	93,650	93,650	93,650	93,650
Chancado	25,200	25,200	25,200	25,200
Lixiviación primaria	342,000	342,000	342,000	342,000
Lixiviación secundaria	691	691	691	691
Recursos humanos	522,241	532,686	543,340	554,206
Recepción mineral	68,037	69,398	70,786	72,202
Chancado	57,295	58,441	59,609	60,802
Lixiviación primaria	340,187	346,991	353,931	361,009
Lixiviación secundaria	56,722	57,856	59,013	60,194
CuSO ₄ plant expenses	134,400	134,400	134,400	134,400
Egreso Total	2,043,548	2,053,993	2,064,647	2,075,514
Resultado anual (nominal)	(604,424)	(614,869)	(625,522)	(636,389)
Resultado anual (descontado)	(125,454)	(111,949)	(99,902)	(89,156)
Resultado acumulado (nominal)	(6,758,527)	(7,373,396)	(7,998,918)	(8,635,307)
Resultado acumulado (descontado)	(3,182,973)	(3,294,922)	(3,394,824)	(3,483,980)

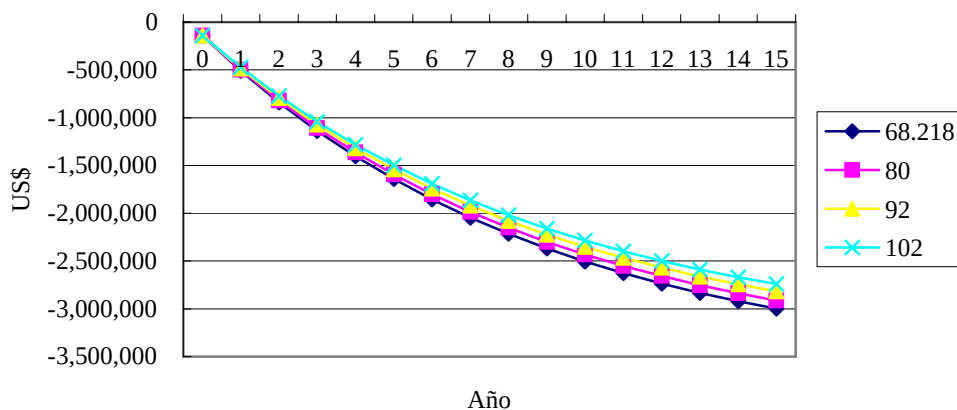
Indicadores Financieros

Precio Cu (US ¢ /lb)	68.22	80.00	92.00	102.00
VPN _{14%} (mil US\$)	-2,998	-2,913	-2,818	-2,740
TIR	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Inversión inicial (mil US\$)	139	139	139	139
Cash Cost (US ¢ /lb)	59.43	59.43	59.43	59.43

Resultado del Análisis de Sensibilidad al Precio de Cobre



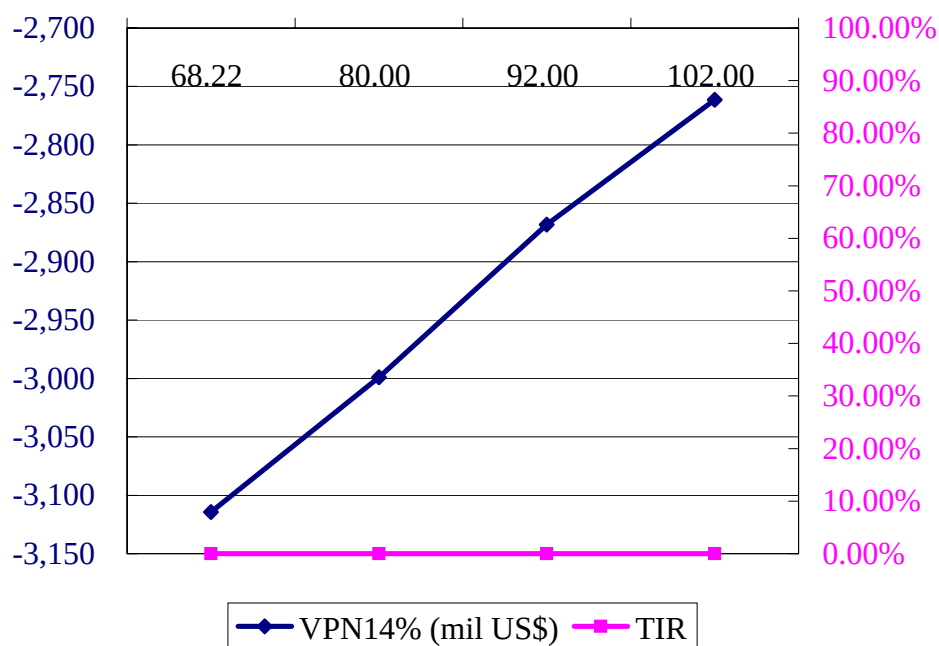
DCF acumulado por precio de cobre



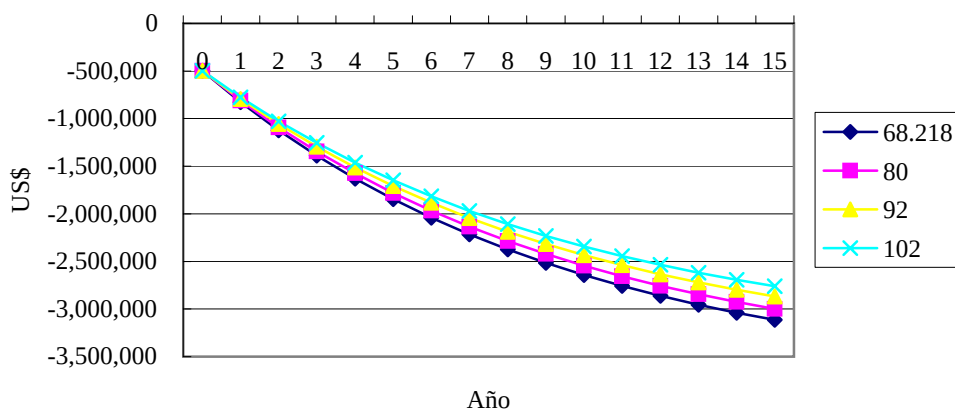
Indicadores Financieros

Precio Cu (US ¢ /lb)	68.22	80.00	92.00	102.00
VPN _{14%} (mil US\$)	-3,114	-2,999	-2,868	-2,761
TIR	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Inversión inicial (mil US\$)	499	499	499	499
Cash Cost (US ¢ /lb)	52.70	52.70	52.70	52.70

Resultado del Análisis de Sensibilidad al Precio de Cobre



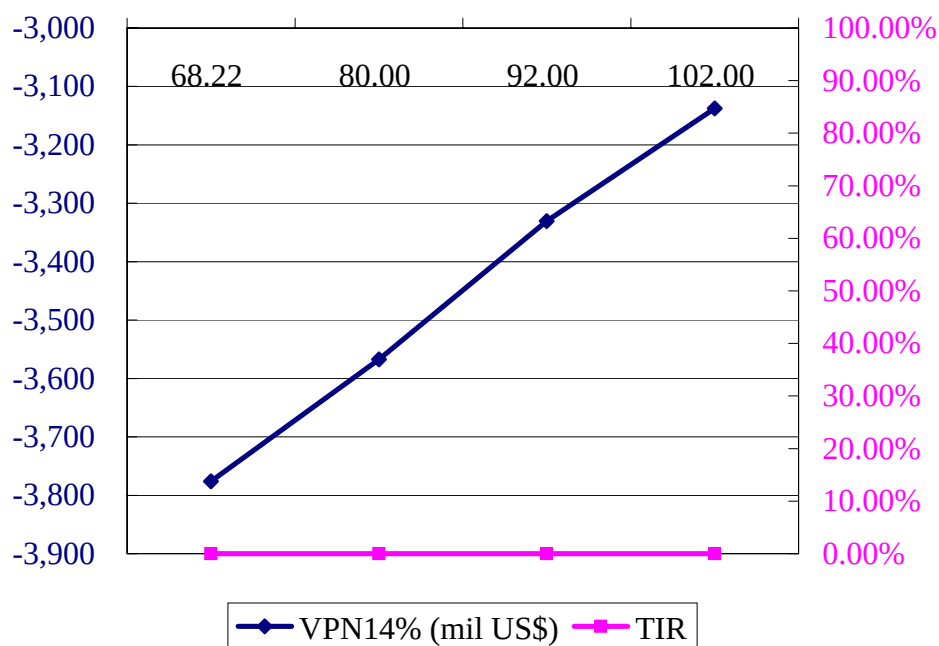
DCF acumulado por precio de cobre



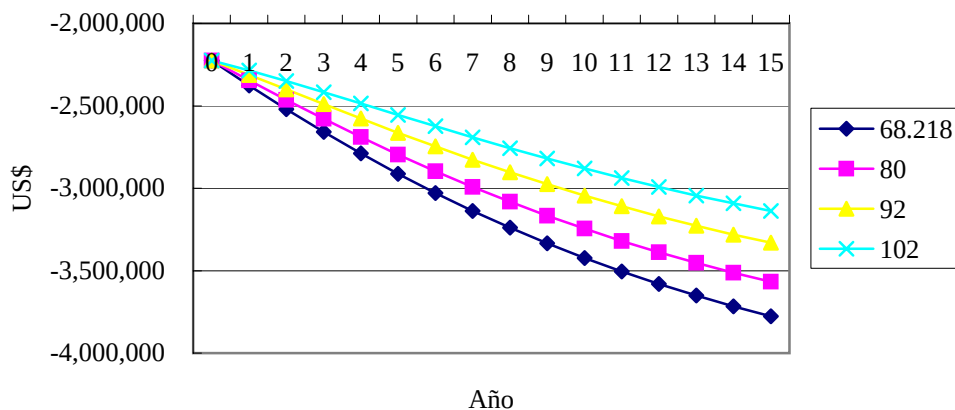
Indicadores Financieros

Precio Cu (US ¢ /lb)	68.22	80.00	92.00	102.00
VPN _{14%} (mil US\$)	-3,776	-3,567	-3,331	-3,137
TIR	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Inversión inicial (mil US\$)	2,225	2,225	2,225	2,225
Cash Cost (US ¢ /lb)	43.93	43.93	43.93	43.93

Resultado del Análisis de Sensibilidad al Precio de Cobre



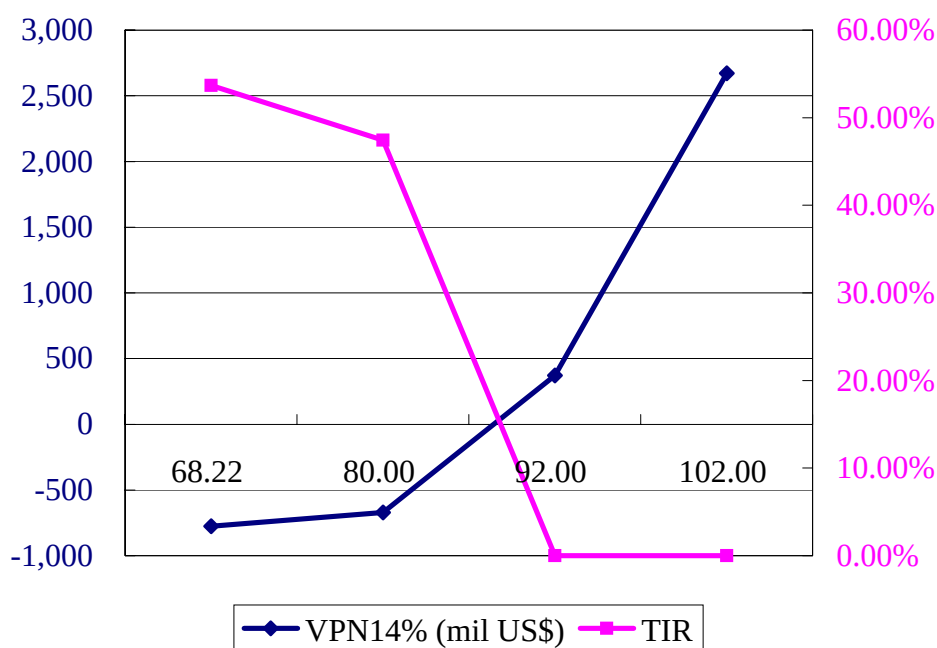
DCF acumulado por precio de cobre



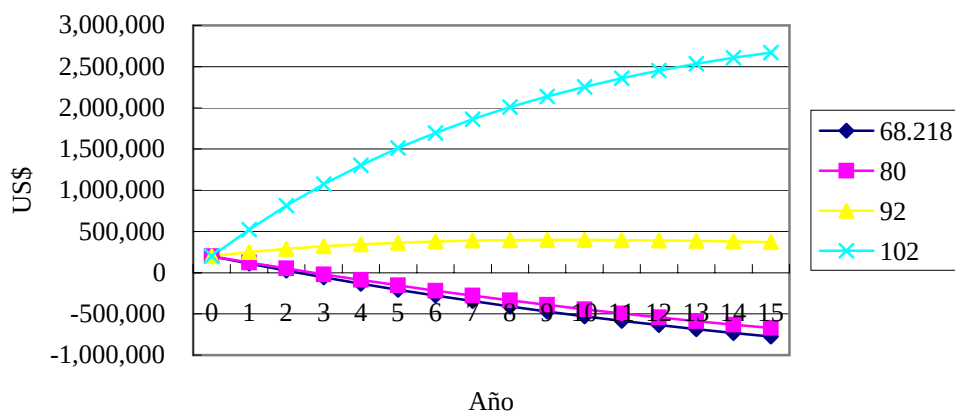
Indicadores Financieros

Precio Cu (US ¢ /lb)	68.22	80.00	92.00	102.00
VPN _{14%} (mil US\$)	-776	-672	370	2,671
TIR	53.68%	47.44%	#DIV/0!	#DIV/0!
Inversión inicial (mil US\$)	600	600	600	600
Cash Cost (US ¢ /lb)	54.31	54.31	54.31	54.31

Resultado del Análisis de Sensibilidad al Precio de Cobre



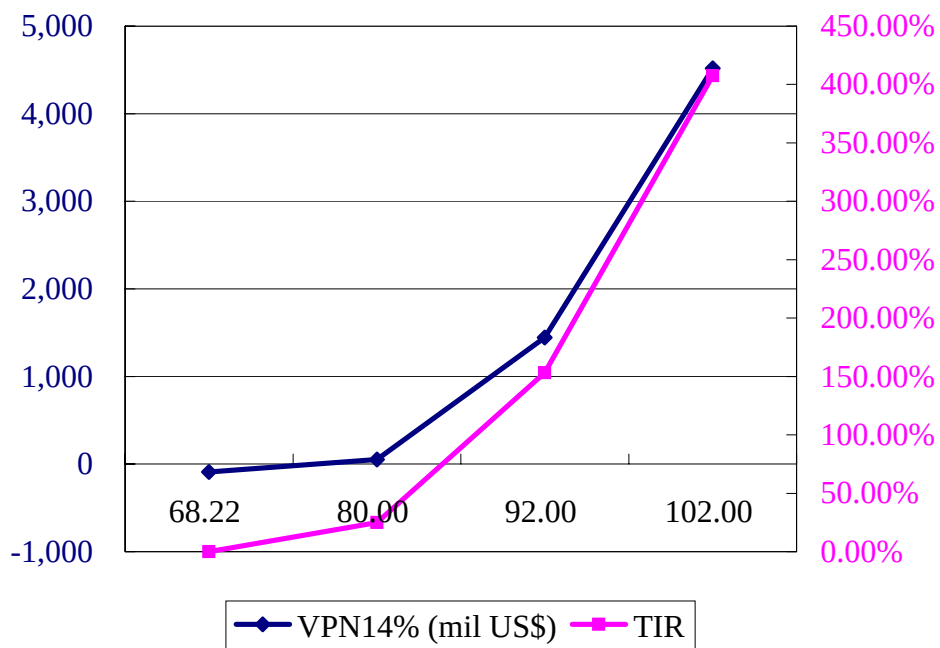
DCF acumulado por precio de cobre



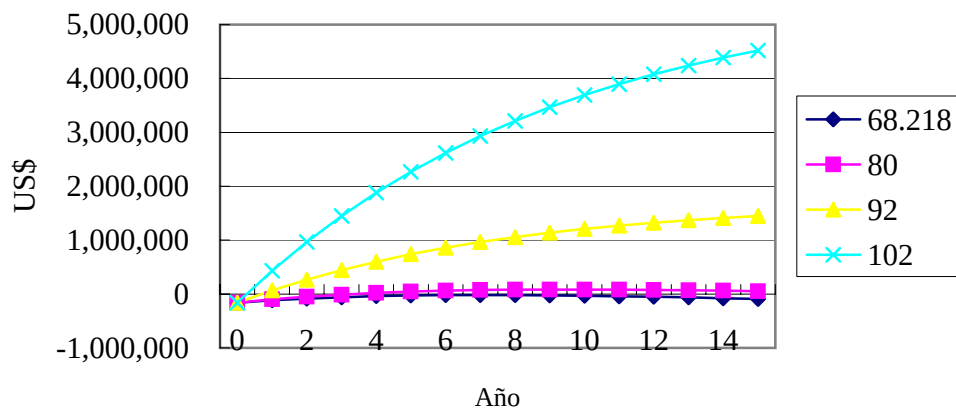
Indicadores Financieros

Precio Cu (US ¢ /lb)	68.22	80.00	92.00	102.00
VPN _{14%} (mil US\$)	-92	51	1,445	4,516
TIR	#DIV/0!	24.92%	153.14%	407.54%
Inversión inicial (mil US\$)	960	960	960	960
Cash Cost (US ¢ /lb)	48.13	48.13	48.13	48.13

Resultado del Análisis de Sensibilidad al Precio de Cobre



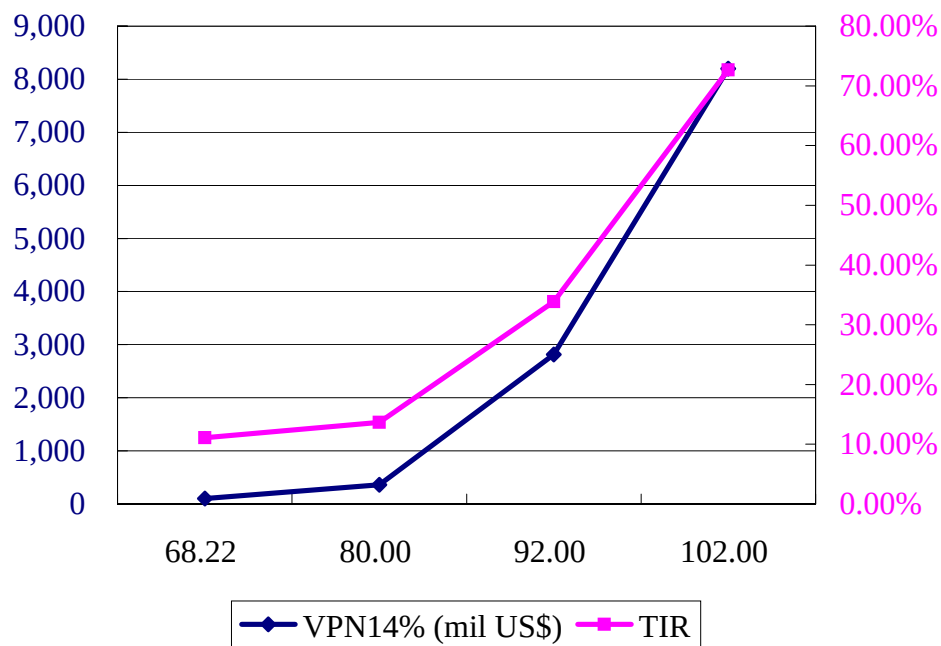
DCF acumulado por precio de cobre



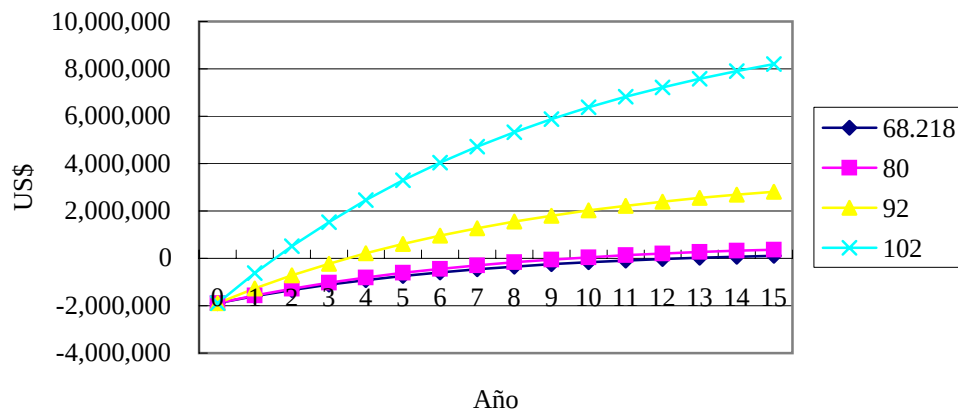
Indicadores Financieros

Precio Cu (US ¢ /lb)	68.22	80.00	92.00	102.00
VPN _{14%} (mil US\$)	105	364	2,814	8,197
TIR	11.10%	13.68%	33.88%	72.64%
Inversión inicial (mil US\$)	2,686	2,686	2,686	2,686
Cash Cost (US ¢ /lb)	39.92	39.92	39.92	39.92

Resultado del Análisis de Sensibilidad al Precio de Cobre



DCF acumulado por precio de cobre



7. Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente en Planta Ovalle

7. Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente en Planta Ovalle

En el acápite 7.1 se presenta la mejor opción del *modus operandi* citado en el capítulo anterior considerando los efectos hacia el medio ambiente. Y a continuación, en el acápite 7.2 el *modus operandi* de acuerdo a la situación actual de ENAMI.

7.1 Óptima Operación

Del análisis económico-financiero del capítulo anterior, el *modus operandi* óptimo del procesamiento de minerales óxidos de cobre resultó inviable para niveles de procesamiento actual de 6,000t/mes (para el rango de cotización del cobre entre 68.2180¢/lb y 92.00¢/lb) y máximo posible a mediano plazo de 8,000t/mes (para el rango de cotización del cobre entre 68.2180¢/lb y 80.00¢/lb); sin embargo, fueron socialmente factibles para mejores cotizaciones del cobre en cada caso: nivel de procesamiento de 6,000t/mes entre 92.00¢/lb y 102.00¢/lb; 8,000t/mes entre 80.00¢/lb y 102.00¢/lb; y en todo el rango de análisis para el caso del nivel de procesamiento de 14,000t/mes. Es decir, se concluyó que de mantenerse el nivel actual de procesamiento de 6,000t/mes, se debería ejecutar un plan de ampliación parcial de la planta modelo; de lograr un incremento de la producción mediante el procesamiento de 8,000t/mes, una ampliación mayor en planta modelo; y de operando a 14,000t/mes, capacidad total de la planta de procesamiento de minerales óxidos de cobre, construir la planta de tratamiento de solución de descarte a escala de modo que sea factible económica y ambientalmente. En la Figura 7-1 se compila el proceso de operación.

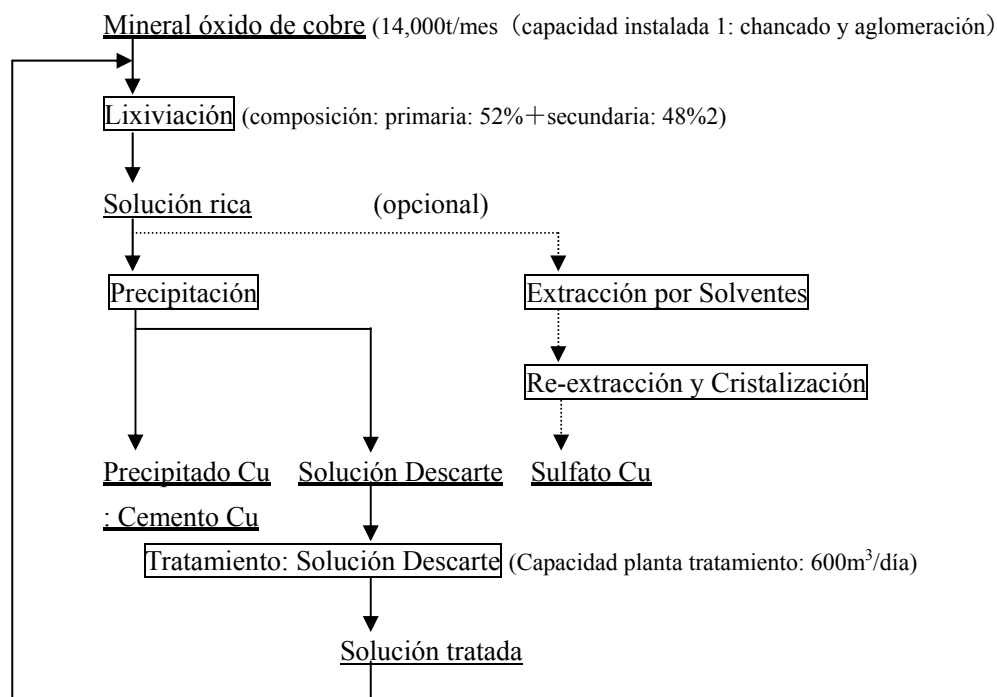


Figura 7-1 Procesamiento Compatible con el Medio Ambiente: Oxidos de Cobre

En efecto, para el caso del procesamiento de minerales sulfurados se concluye que el nivel óptimo de procesamiento es de 7,000t/mes de acuerdo a la capacidad instalada.

No obstante, se requiere analizar la situación considerando factores internos y externos al proceso, ya que en la actual coyuntura es difícil el abastecimiento del mineral crudo, así como por la necesidad de inversión para el tratamiento de solución de descarte del procesamiento de minerales óxidos.

7.2 Metodología de Operación Coyuntural

Se deberá analizar el *modus operandi* de acuerdo a la situación y posibilidades actuales, considerando los impactos ambientales, mediante la introducción de una nueva política de ENAMI basado en la racionalización de los recursos.

7.2.1 Política de Operación de ENAMI (2002.03)

Las nuevas políticas de operación de ENAMI para la planta Ovalle a considerar son las siguientes:

(1) Procesamiento de minerales óxidos de cobre

- ① No generación de nueva contaminación: prevención de infiltración-emanación de la solución de descarte (reciclaje de solución de descarte no tratada y solución tratada al circuito de lixiviación).
- ② Inviabilidad de realizar nuevas inversiones bajo la actual situación de endeudamiento: aplazamiento de la construcción de planta a escala de tratamiento de solución de descarte.
- ③ Operación máxima en planta modelo a pesar de incurrir en costos adicionales de prevención de contaminación: verificación de la capacidad de tratamiento (nominal: 100m³/día).
- ④ Incremento de procesamiento de minerales óxidos de cobre: máximo 8,000t/mes (volumen de solución de descarte: 330m³/día); promedio 6,000t/mes (volumen de solución de descarte: 250m³/día).
- ⑤ Análisis de reducción de solución de descarte: producción de sulfato de cobre a partir de la solución rica de lixiviación e introducción del proceso SX-EW; sin embargo, el análisis de la última opción deberá ser aplazada por el momento.
- ⑥ Análisis de recuperación del cobre contenido en la solución de descarte: reciclaje de solución de descarte no tratada y solución tratada al circuito de lixiviación.
- ⑦ Mejoramiento de ingresos de la planta Ovalle: producción de sulfato de cobre a partir de la solución rica de lixiviación.

(2) Procesamiento de minerales sulfurados de cobre: mantenimiento de las operaciones actuales.

7.2.2 Análisis del Método de Procesamiento

Se analizó en función a las posibilidades tanto para el procesamiento de minerales óxidos como sulfurados de cobre. En el Cuadro 7-1 se muestra los métodos analizados.

(1) Procesamiento de minerales óxidos

- 1) Método de precipitación (método de cementación, intercambio iónico hierro-cobre):
lixiviación → precipitación → producción de precipitado de cobre: generación de residuos líquidos con contenido de elementos tóxicos.

① Con tratamiento de solución de descarte

- a) Inexistencia de productos secundarios a partir de la solución de descarte
- ii. Vertimiento de solución tratada al estero (ver cuadro: ①→②→③→⑧)
 - iii. Reciclaje de solución tratada al circuito de lixiviación (ver cuadro: ①→②→③→⑨): contribuye a la recuperación del cobre, sin embargo, se deberá tener cuidado en el balance de materiales en el circuito de lixiviación a largo plazo.

- b) Obtención de productos secundarios a partir de la solución de descarte (ver cuadro: ①→②→④→⑧ ó ⑨): hematita (Fe_2O_3), ferrita ($\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3$), etc.

En la Figura 7-2 se muestra los procedimientos de las pruebas realizadas por la Organización Minera Metálica del Japón (MMAJ: Metal Mining Agency of Japan), relacionado a la obtención de productos secundarios a partir de efluentes de mina. No obstante, las conclusiones tendían a ser inviables.

- c) Otros 1: obtención de productos secundarios a partir de Fe^{3+} de la planta de tratamiento de solución de descarte (ver cuadro: ①→②→⑤→⑧ ó ⑨): hidróxido férrico (Fe(OH)_3) ó sulfato ferroso ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$): requiere de un estudio de factibilidad.
- d) Otros 2: reciclaje de solución oxidada ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) de la planta de tratamiento de solución de descarte (ver cuadro: ①→②→⑥→⑨): lixiviación de minerales sulfurados primarios y secundarios contenidos en el mineral crudo.
- e) Otros 3: adición metódica de bacterias ferro-oxidantes excedentes de la planta de tratamiento de solución de descarte al circuito de lixiviación (requiere sistema de aireación): catalizador de lixiviación de minerales sulfurados secundarios contenidos en el mineral crudo.
- f) Otros 4: adición de bacterias ferro-oxidantes excedentes de la planta de tratamiento de solución de descarte y álcali a las pozas de evaporación permeables (requiere sistema de aireación): prevención de contaminación latente debida a solución de descarte almacenado mediante oxidación y precipitación de hierro ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe(OH)}_3$).
- g) Otros 5: Tratamiento de solución de descarte almacenado en las pozas de evaporación en la planta modelo: prevención de contaminación latente.

② Sin tratamiento de solución de descarte

- a) Reciclaje de solución de descarte al circuito de lixiviación (ver cuadro: ①→②→⑦→⑨): contribuirá a la recuperación del cobre, sin embargo, se cree que la largo plazo afectará negativamente al proceso lixiviación, debido a la acumulación de metales pesados en el circuito.
- b) Disposición de solución de descarte en las pozas de evaporación (1: sin medidas de impermeabilización): (ver cuadro: ①→②→⑦→⑩): independientemente a la capacidad de evaporación, ocurrirá la infiltración de ión ferroso soluble al subsuelo, y

emanación posterior hacia el estero, manteniéndose el mecanismo de contaminación: método inviable.

- c) Disposición de solución de descarte en las pozas de evaporación (2: con medidas de impermeabilización mediante carpetas de HDPE): (ver cuadro: ①→②→⑦→⑪): es posible prevenir la contaminación si existe balance entre la solución de descarte entrante y la capacidad de evaporación. De ser así, el ión ferroso precipitará en forma de sulfato (FeSO_4): Requiere plan de cierre mediante cobertura y vegetación.
 - 2) Método de producción de sulfato de cobre a partir de la solución rica de lixiviación: lixiviación → extracción por solventes → re-extracción / cristalización → producción de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (ver cuadro: ①→⑫→⑬): disminución de solución de descarte debido a la sustracción parcial de la solución rica para el proceso de precipitación.
 - 3) Método de extracción por solventes y electrodeposición (SX-EW): lixiviación → extracción por solventes → electrodeposición (electro-winning) → cobre electrolítico o cátodo de cobre (ver cuadro: ①→⑭→⑮): disminución gradual de solución de descarte debido al consumo cíclico.
 - 4) Venta de solución rica de lixiviación a plantas (cercanas) de SX-EW (ver cuadro: ①→⑯): En efecto, el transporte de la solución rica podría ser realizado mediante camión cisterna que provee ácido sulfúrico a la planta Ovalle, no obstante esta opción requiere un estudio de factibilidad particular: no existe generación de residuos líquidos.
- (2) Procesamiento de minerales sulfurados
- 1) Método de flotación: flotación → producción de concentrado de cobre: no existe contaminación debido a que los relaves del proceso son dispuestos en tranques, en los cuales el agua de rebose se recicla a la planta concentradora.

7.2.3 Estudios de Caso

A continuación se detalla los modus operandi factibles como estudios de caso.

Los números encerrados en círculos denotan la numeración usada en el Cuadro 7-1.

(1) Procesamiento de minerales óxidos

Volumen de solución de descarte a ser tratado: $\text{Pm}^3/\text{día}$

Volumen de tratamiento máximo en planta modelo: $\text{Qm}^3/\text{día}$ ($\text{Q} < \text{P}$)

- 1) Caso 1: ① lixiviación → ② precipitación (cementación) → ③ planta modelo (vertimiento al estero, reciclaje a circuito de lixiviación) $[\text{x}_1] + ⑦$ solución de descarte sin tratamiento (reciclaje a circuito de lixiviación: sulfato ferroso, etc.) $[\text{x}_2]$: $\text{x}_1 + \text{x}_2 = \text{Pm}^3/\text{día}$, $\text{x}_1 < \text{Qm}^3/\text{día}$
- 2) Caso 2: $\{ ① \text{ lixiviación} \rightarrow ② \text{ precipitación (cementación)} \rightarrow ③ \text{ planta modelo (vertimiento al estero, reciclaje a circuito de lixiviación)} [\text{x}_3] (+ ⑦ \text{ solución de descarte sin tratamiento (reciclaje a circuito de lixiviación: sulfato ferroso, etc.)} [\text{x}_4]) \} + (① \text{ lixiviación} \rightarrow ⑫ \text{ extracción por solventes} \rightarrow ⑬ \text{ re-extracción / cristalización (sulfato de cobre)} [\text{x}_5]) :$

$$x_3 + x_4 + x_5 = \text{Pm}^3/\text{día}, x_3 < \text{Qm}^3/\text{día}$$

- 3) Caso 3: ① lixiviación → ② precipitación (cementación) → ④ tratamiento alterno 1 (hematita, ferrita) $[x_6]: x_6 = \text{Pm}^3/\text{día}$
- 4) Caso 4: ① lixiviación → ② precipitación (cementación) → ⑤ tratamiento alterno 2 (sulfato ferroso) $[x_7]: x_7 = \text{Pm}^3/\text{día}$
- 5) Caso 5: ① lixiviación → ② precipitación (cementación) → ⑥ solamente oxidación (sulfato ferroso) $[x_8]: x_8 = \text{Pm}^3/\text{día}$
- 6) Caso 6: ① lixiviación → ② precipitación (cementación) → ⑦ sin tratamiento $[x_9]: x_9 = \text{Pm}^3/\text{día}$
- 7) Caso 7: ① lixiviación → ⑫ extracción por solventes → ⑬ re-extracción / cristalización (sulfato de cobre) $[x_{10}]: x_{10} = \text{Pm}^3/\text{día}$
- 8) Caso 8: ① lixiviación → ⑭ extracción por solventes → ⑮ electrodeposición (cobre electrolítico) $[x_{11}]: x_{11} = \text{Pm}^3/\text{día}$
- 9) Caso 9: ① lixiviación → ⑯ venta (solución rica de lixiviación) $[x_{12}]: x_{12} = \text{Pm}^3/\text{día}$

(2) Procesamiento de minerales sulfurados

- 1) Caso 1: ⑰ flotación

7.2.4 *Modus Operandi* Coyuntural

Se analizó la modalidad de operación compatible con el medio ambiente, considerando las actuales circunstancias y de acuerdo a la nueva política de ENAMI, como un estudio de caso que se detalla a continuación.

(1) Procesamiento de minerales óxidos

1) Condiciones pre-establecidas

- ① Procesamiento promedio (capacidad real): 6,000t/mes (72,000t/año) (tasa de operación: 43%); Procesamiento promedio (capacidad ideal): 8,000t/mes (96,000t/año) (tasa de operación: 57%)
- ② Generación de solución de descarte: 250m³/día (procesamiento real): volumen de solución de descarte que requiere tratamiento
- ③ Volumen de tratamiento de solución de descarte en planta modelo: 176 m³/día (capacidad máxima)

2) Prioridad de tratamiento

A continuación se describe los procesamiento de minerales sobre la capacidad real de 6,000t/mes (generación de 250m³/día de solución de descarte).

Corresponde al Caso 2 descrito arriba. Las opciones se analizaron de acuerdo al grado de prioridad de tratamiento.

- ① Lixiviación → precipitación: volumen de solución de descarte tratada: Am³/día
- ② Se ha estimado la capacidad de tratamiento de solución de descarte en la planta modelo en 176m³/día, debido fundamentalmente a la disminución de la concentración de hierro.

La solución tratada se retornará al circuito de lixiviación. Asimismo, los sedimentos

generados en el tratamiento de la solución de descarte, serán dispuestos en tranques (tipo supervisado: v.g. depósito terminal supervisado según normas japonesas) para posteriormente ser cubiertos. Los tranques deberán ser impermeabilizados ya que los sedimentos podrían contener elementos tóxicos como arsénico.

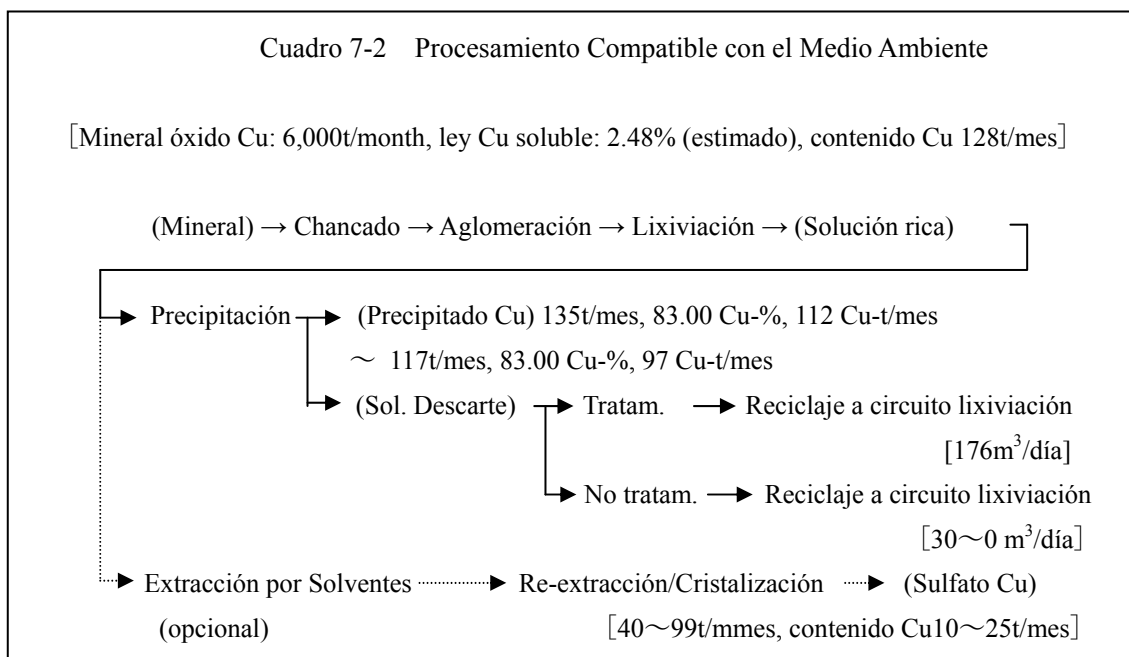
- ③ Lixiviación → extracción por solventes → producción de sulfato de cobre (opcional): reducción de solución de descarte debido a la producción de sulfato de cobre: $Bm^3/\text{día}$

Un nivel de producción de sulfato de cobre de 40t/mes representa una reducción de $30m^3/\text{mes}$ de solución de descarte: se estima $30 \leq Bm^3/\text{día}$. A pesar que la producción de sulfato de cobre se encuentra en prueba, una mayor producción reducirá el volumen de la solución ③ descrita a continuación, y aumentaría la recuperación de cobre. No obstante, se requiere realizar un estudio de mercado y de factibilidad y para el sulfato de cobre a largo plazo.

- ④ Lixiviación → precipitación: volumen de retorno de solución de descarte al circuito de lixiviación: $Cm^3/\text{día}$: $250m^3/\text{día} - \text{solución tratada (A)} - \text{reducción para la producción de sulfato de cobre (B)}$

Del cálculo resulta: $C = 74 - Bm^3/\text{día}$. Es decir, de mantenerse el nivel de producción actual de sulfato de cobre de 40t/mes: $B = 30m^3/\text{día}$ y $C = 44 m^3/\text{día}$. Al aumentar la producción hasta $B = 99t/\text{mes}$, la reducción de solución de descarte resultará: $B = 74m^3/\text{día}$ y $C = 0m^3/\text{día}$.

En el Cuadro 7-2 se muestra el *modus operandi* coyuntural para el procesamiento de minerales óxidos de cobre.



- 3) Análisis financiero: el presente caso de procesamiento de 6,000t/mes (incluyendo producción de sulfato de cobre entre 40 y 99t/mes) resultó ser no factible.

(2) Procesamiento de minerales sulfurados

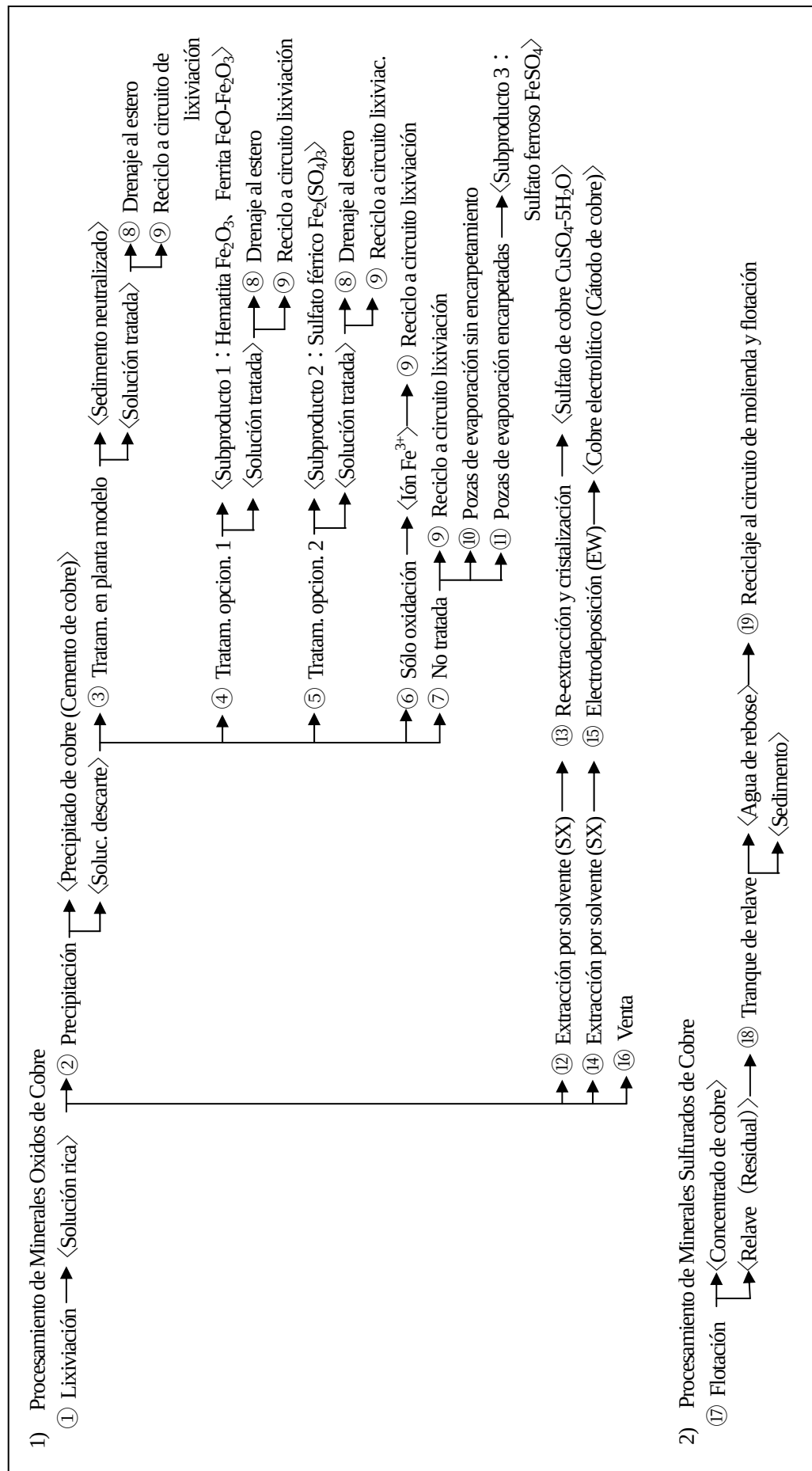
Mantenimiento del procesamiento existente post incremento de capacidad instalada.

Procesamiento objetivo: 9,900t/mes (118,800t/año) (tasa de operación: 90%)

7.3 Plan de Operación Compatible con el Medio Ambiente

En la Figura 7-3 se muestra los diagramas de flujo para la adecuación al procesamiento considerando la prevención de contaminación a partir de un procesamiento causante de contaminación.

Cuadro 7-1 Sinopsis de Metodologías de Procesamiento : Planta Ovalle, ENAMI



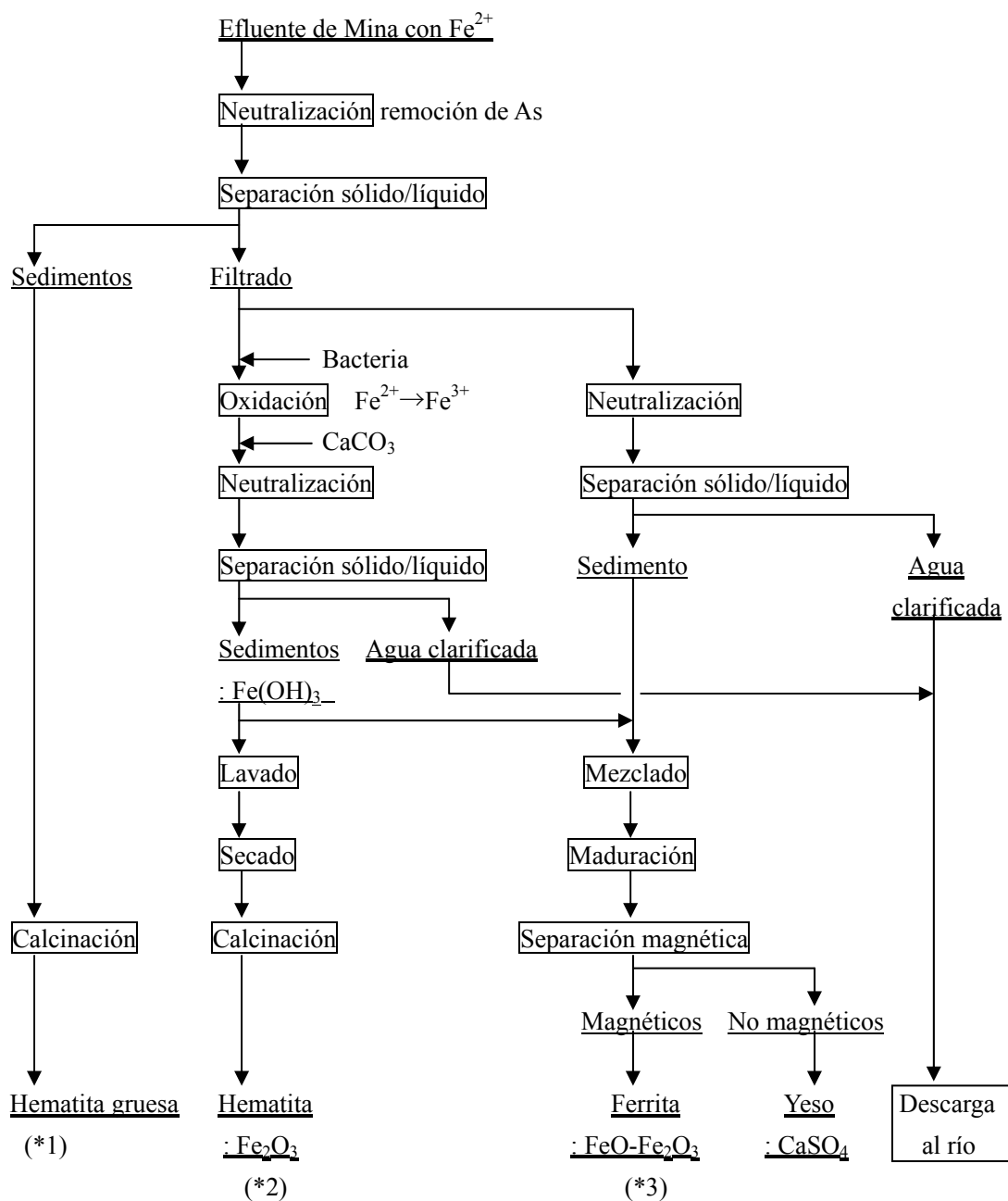


Figura 7-2 Procedimiento de Investigación para la Recuperación de Metales de Efluentes de Mina

*1: Disposición en tranque en caso contenga As.

*2: Pigmento (colcothar, etc.), abrasivo, materia prima para ferrita, etc.

*3: Absorbente de onda eléctrica, material magnético, fluido magnético, material de construcción, etc.

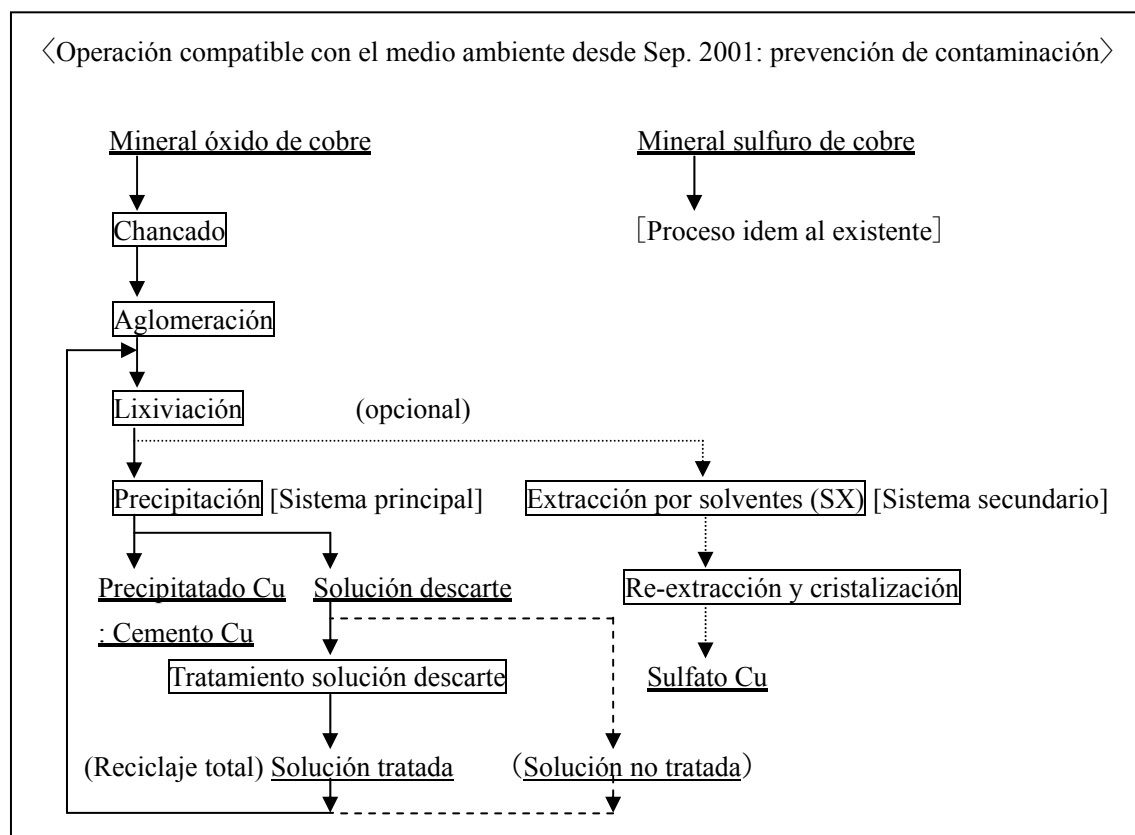
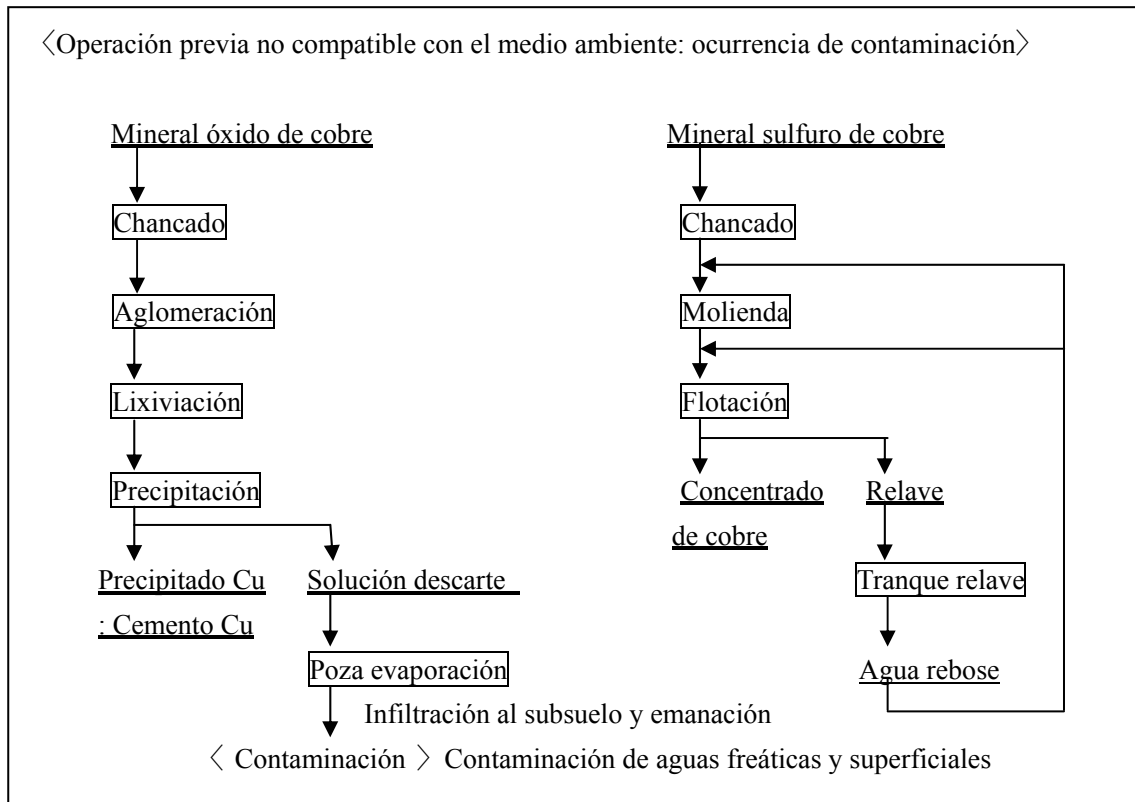


Figura 7-3 Adecuación hacia el Proceso Compatible con el Medio Ambiente

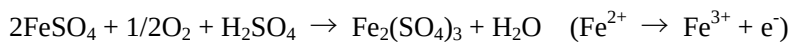
8 . Aplicabilidad de Oxidación Bacteriana en Chile (Plan Maestro)

8. Aplicabilidad de Oxidación Bacteriana en Chile (Plan Maestro)

Se analizó la aplicabilidad y difusión de la oxidación bacteriana, materia del presente proyecto, en Chile.

8.1 Descripción de la Oxidación Bacteriana

La técnica bacteriana que hace referencia el presente plan consiste en la aplicación del metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans* que oxida en medio ácido, regulado con ácido sulfúrico, al ión ferroso en férrico. La reacción química del proceso de oxidación se estima como sigue:



En efecto, estas bacterias autotróficas obtienen energía de la reacción de oxidación al mismo tiempo que fijan en su organismo el CO_2 del medio.

En efecto, esta tecnología bacteriana es compatible con el medio ambiente, siendo además económicamente eficiente comparado con técnicas de oxidación química.

8.2 Condiciones Requeridas para la Aplicación de Tecnología

A continuación se describe las condiciones requeridas para el metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans*, y consecuentemente la aplicación de la tecnología.

- ① Acidez dada mediante presencia de ácido sulfúrico: es posible una mezcla de ácidos, sin embargo, se prefiere el dominio del ión sulfato con respecto a otros aniones. Asimismo, la presencia de halógenos inhibe el metabolismo de las bacterias, por tanto las concentraciones de éstos deberán ser menores a los límites que se presentan abajo.
- ② Rango de pH: entre 1.3 y 4.5 (valor ideal: 2.5).
- ③ Rango de temperatura: entre 10 y 37°C (rango ideal: entre 30 y 35°C): se ha detectado su actividad a temperaturas menores de 10°C.
- ④ Medio aeróbico.
- ⑤ Existencia de portadores de bacteria en el medio: ión ferroso (Fe^{2+}), azufre (S), ácido tiosulfúrico ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$), etc.
- ⑥ En el siguiente cuadro se muestra los inhibidores del metabolismo bacteriano.

Alta sensibilidad, baja resistencia	Relativa resistencia	Alta resistencia
Hg, Ag, Mo, Te, Se, U, cianuro (CN^-), compuestos orgánicos de flúor	Sn, As, ión nitrato (NO_3^-), compuestos monómeros de cloro*	Zn, Ni, Co, Cu, Mn, Al, Cd, Cr

Observación: mediante cultivo iterativo es posible mejorar la resistencia hasta cierto grado.

* Comúnmente en concentraciones menores a 1g/L; sin embargo, es posible mejorar la resistencia hasta 10g/L mediante proceso de aclimatación.

8.3 Campo de Aplicación

Existen cuatro posibles campos de aplicación para la tecnología de oxidación bacteriana en Chile.

- (1) Tratamiento de solución de descarte originado en los procesos de producción de precipitados de cobre (método de cementación).

Estas soluciones al ser depositadas en pozas de evaporación sin el debido tratamiento de impermeabilización, infiltran al subsuelo ión ferroso en solución, que posteriormente emanan hacia la superficie ocasionando contaminación de aguas y suelos. Del mismo modo que la técnica aplicada en planta Ovalle, estas soluciones deberán ser tratadas mediante oxidación bacteriana con el fin de oxidar al ión ferroso (Fe^{2+}) en férrico (Fe^{3+}) y posteriormente separarlos en forma de hidróxido ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) mediante neutralización. De ese modo se logrará el mejoramiento de la calidad ambiental en sus operaciones. No existen casos de aplicación similares en Japón.

- (2) Drenaje ácido de roca (DAR) originado en minas (en actividad y abandonadas)

Contaminación originada por elementos tóxicos contenidos en el drenaje ácido de roca de minas en acuíferos y aguas superficiales. La técnica consiste en la eliminación mediante co-precipitación de elementos tóxicos (arsénico trivalente y pentavalente, cadmio bivalente, etc.) disueltos en forma conjunta con alto contenido de ión ferroso (Fe^{2+}) a bajos valores de pH, mediante el uso de oxidación bacteriana y neutralización. Del mismo modo que oxida al ión ferroso en férrico (Fe^{3+}) es capaz de oxidar otros elementos como al arsénico (de As^{3+} a As^{5+}) y aprovechar las bajas solubilidades de sus elementos oxidados en medio ácido. En Japón se cuentan como ejemplos de aplicación, tratamiento de DAR en antiguas minas de Sakubara y Matsuo entre otras. En la Figura 8-1 se muestra el proceso de tratamiento. El recuadro “oxidación bacteriana” de la figura corresponde a la presente tecnología.

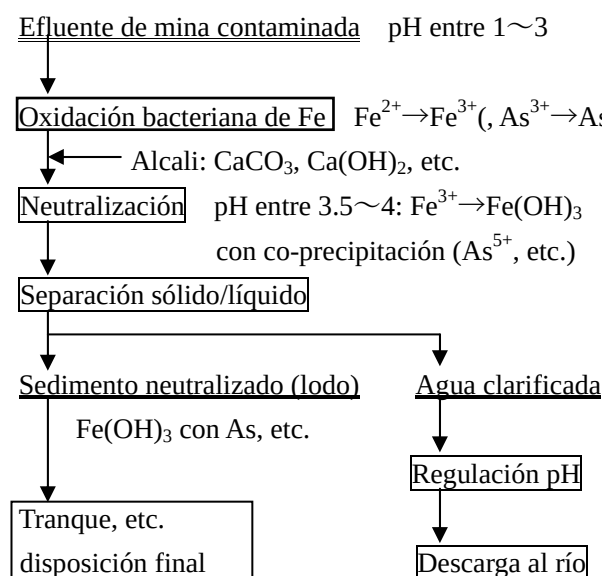


Figura 8-1 Aplicación de Oxidación Bacteriana para el Tratamiento de DAR

(3) Productos intermedios de refinación (humos de fundición)

Contaminación originada por humos de fundición conteniendo altas concentraciones de metales (Cu, etc.) y elementos tóxicos (As, Cd, etc.) afectando la calidad de aguas freáticas y superficiales mediante su disolución; y calidad de suelos mediante deposición. A través de la recuperación de metales y separación de elementos tóxicos tratando los humos es posible lograr el mejoramiento de la calidad ambiental. El caso de la refinería de Kosaka es la aplicación representativa en Japón. En la Figura 8-2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de tratamiento de humos en la refinería de Kosaka. El recuadro “oxidación bacteriana” corresponde a la aplicación de la presente tecnología.

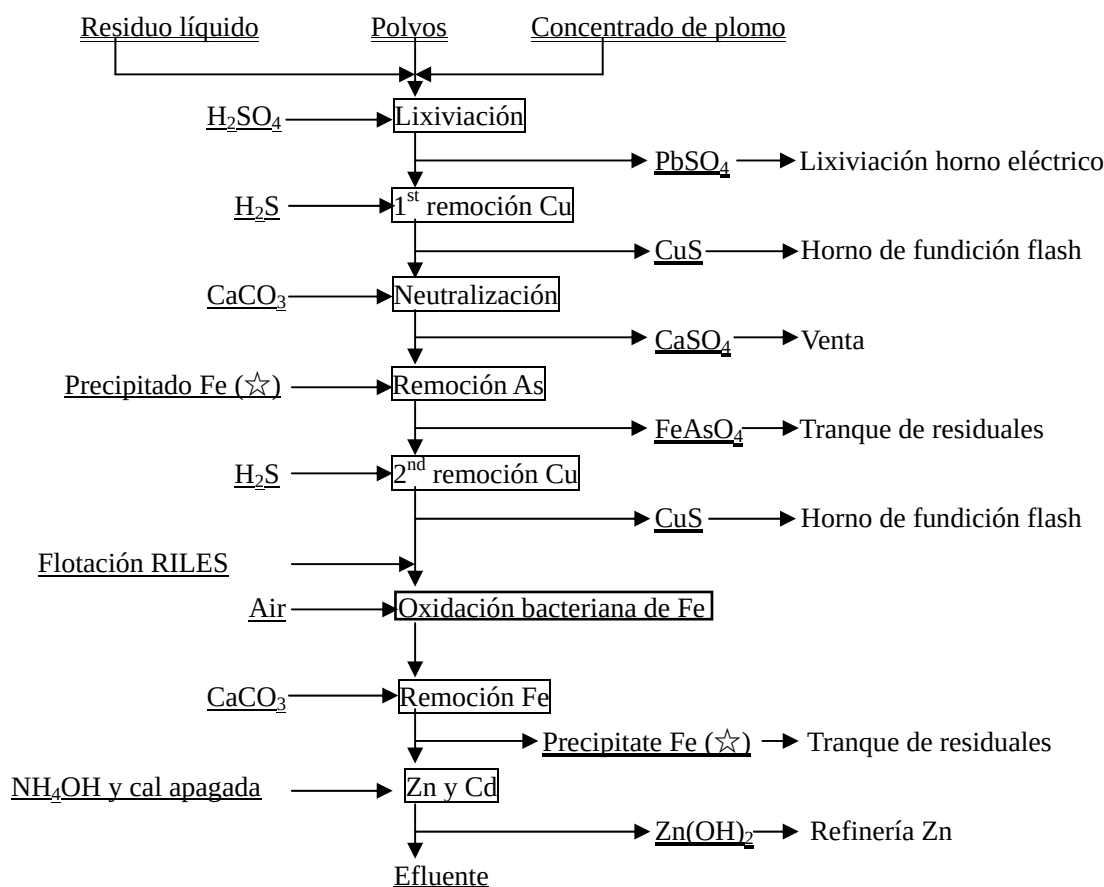


Figura 8-2 Aplicación de Oxidación Bacteriana en Tratamiento de Humos de Fundición

(4) Lixiviación bacteriana de minerales sulfurados de cobre secundarios

Tradicionalmente, el método de recuperación del cobre mediante lixiviación ácida ha sido aplicado a minerales óxidos; no obstante, su aplicación ha sido ampliada en los últimos años para procesar minerales sulfurados secundarios como calcocita (Cu_2S) y covelita (CuS), previo tratamiento de oxidación mediante el uso de bacterias.

El procesamiento de minerales sulfurados secundarios de cobre para la obtención del cobre electrolítico más difundido ha sido flotación, tratamiento pirometalúrgico y refinación

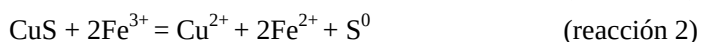
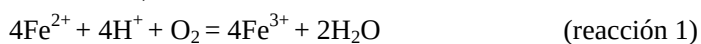
electrolítica, formándose sucesivamente concentrados, ánodos y cobre electrolítico en cada etapa respectivamente.

Sin embargo, la tendencia del procesamiento va hacia la aplicación de lixiviación bacteriana, extracción por solventes y electrodeposición (SX-EW), debido a su menor costo comparativo y su capacidad de tratar asimismo minerales de baja ley. Es de esperar que este procedimiento para el tratamiento de minerales sulfurados secundarios de cobre será difundido en el futuro.

Existen las siguientes hipótesis del mecanismo de lixiviación bacteriana.

- ① Mecanismo de lixiviación indirecta: la generación de ión férrico de la oxidación del ferroso ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) mediante el metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans* para luego iniciar la oxidación de otros metales sulfurados.

(Caso covelita):



El avance de la reacción 1 es muy baja en medio ácido, sin embargo, en presencia de bacteria aumenta en 500 mil veces.

El ión férrico de la reacción 2 se reduce oxidando al cobre sulfurado. El ión ferroso así formado es cíclicamente oxidado según la reacción 1.

Este mecanismo requiere la presencia de ión ferroso, que generalmente se obtiene de la oxidación de la pirita (FeS_2) que se encuentra comúnmente en la naturaleza. La reacción se muestra a continuación.



- ② Mecanismo de lixiviación directa: el *Thiobacillus ferrooxidans* toma contacto con la superficie del mineral sulfurado para actuar de catalizador de la oxidación del metal, según la siguiente reacción química.



Sin embargo, aun no se ha determinado teóricamente los minerales materia de procesamiento ni las condiciones óptimas de operación.

Esta técnica de lixiviación bacteriana se aplica para la extracción de cobre en lixiviación en pilas y por *dump*; así como en minas de uranio mediante lixiviación *in situ*.

En cuanto a la aplicación de esta técnica bacteriana, se recomienda realizar pruebas empleando bacterias existentes en plantas de tratamiento de solución de descarte y DAR citados en (1) y (2), con el objeto de mejorar la cinética de extracción y tasa de recuperación del cobre en forma metódica. Ejemplos de aplicación en Japón se dieron en las antiguas minas de Kosaka y Tobará.

Por otro lado, aparte del *Thiobacillus ferrooxidans*, se realizan investigaciones mediante el uso de otras bacterias como *Thiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Acidithiobacillus brierleyi*, *Metallosphaera sedula*, *Sulfolobus acidocaldarius*, *TH1*, *TH2*, *TH3*, *ALV*, *BC*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans subsp. thermotolerans*, *Sulfobacillus thermosulfido-oxidans subsp. asporogenes*, *Thiobacillus*

prosperus, *Thiobacillus cuprinus*, *Thiobacillus acidophilus*, etc.

En efecto, la lixiviación de minerales sulfurados primarios como la calcopirita, mediante oxidación bacteriana es aún complicada. Asimismo, se están desarrollando nuevas técnicas de lixiviación mediante el uso de amonio, halógenos, medios presurizados, oxidantes fuertes, entre otros.

(5) Otras Aplicaciones

- 1: Limpieza de solución lixivante diluida en circuito *SX-EW*: El método *SX-EW* es ampliamente usado para procesar minerales óxidos (y minerales sulfurados secundarios) de cobre. En él, la solución lixivante diluida de retorno al circuito de extracción tiende a concentrar hierro en cada iteración, disminuyendo la capacidad selectiva del solvente y afectando negativamente a la recuperación del cobre en el circuito de electrodeposición. Es de esperar que mediante el uso de oxidación bacteriana es posible separar al hierro acumulado de la solución con el objeto de mejorar la eficiencia del proceso *SX-EW*. Sin embargo, debido a que la verificación de esta aplicación requiere un estudio particular, es un tema que queda pendiente como propuesta. No existe aplicación práctica en Japón.
- 2: Recuperación de oro y plata contenido en minerales de piritita (FeS_2) y arsenopiritita (FeAsS): La recuperación de oro y plata contenido en estos minerales sulfurados mediante lixiviación cianurada es complicada; no obstante, mediante pre-tratamiento bacteriano, es posible lograr altas recuperaciones. Se han desarrollado métodos como *Biox Process*, *BioPro Process*, *GeoCoat Process*, entre otros. Sin embargo, debido a que no existen casos de aplicación en Chile actualmente, este tema queda latente como propuesta. No existe aplicación práctica en Japón.

8.4 Ambito de Aplicación de la Tecnología en Chile

En principio, se consideró como ámbito de aplicación de la técnica de oxidación bacteriana en Chile, a las plantas de ENAMI similares a Ovalle, y de otros productores para las aplicaciones referidas en (1); y a otros sectores para aplicaciones modificadas referidas en (2), (3) y (4).

- (1) Tratamiento de solución de descarte originado en los procesos de producción de precipitados de cobre.

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

- ① Planta Ovalle de ENAMI: volumen excedente no tratable en planta modelo
- ② Planta Vallenar de ENAMI: ($\text{pH} = 2.7$; $\text{Fe}^{2+} = 9,700\text{mg/L}$; $\text{Fe-T} = 16,800\text{mg/L}$; $\text{Cu} = 467\text{mg/L}$; $\text{Cd} = 0.43\text{mg/L}$; $\text{Pb} = 1.1\text{mg/L}$; $\text{As} = 1.9\text{mg/L}$)
- ③ Planta de recuperación de cobre de polvos de fundición mediante precipitación: V.g. Planta Montecarmelo (recuperación de cobre a partir de los polvos de fundición de la refinera Ventanas mediante relación contractual con ENAMI): procesamiento mediante lixiviación ácida y precipitación con chatarra de hierro para obtener precipitados de cobre: ($\text{pH} = 2.4$; $\text{Fe}^{2+} = 35,400\text{mg/L}$; $\text{Fe-T} = 36,800\text{mg/L}$; $\text{Cu} = 906\text{mg/L}$; $\text{Cd} = 1,410\text{mg/L}$; $\text{Pb} = 0.7\text{mg/L}$;

As = 3,200mg/L)

- ④ Pequeños productores de precipitados de cobre del sector privado: V.g. planta C.G. (pH = 0.4; Fe^{2+} = 49,000mg/L; Fe-T = 54,100mg/L; Cu = 239mg/L; Cd = 0.14mg/L; Pb = 1.1mg/L; As = 1.8mg/L); planta L.C. (pH = 3.4; Fe^{2+} = n.d., Fe-T = 3,140mg/L; Cu = 173mg/L; Cd = 0.09mg/L; Pb = 0.6mg/L; As = 0.16mg/L); planta S.G. (pH = 3.8; Fe^{2+} = n.d.; Fe-T = 51,100mg/L; Cu = 274mg/L; Cd = 0.19mg/L; Pb = 1.2mg/L; As = 0.71mg/L)

En efecto, para los casos ③ y ④ se recomienda a ENAMI instalar en zonas estratégicas, instalaciones de prevención de contaminación y pequeñas plantas de procesamiento con tratamiento de solución de descarte, donde procesar minerales óxidos y polvos de fundición.

Por otro lado, en la planta Matta de ENAMI no existe posibilidad de aplicación, ya que procesa solamente minerales sulfurados. El caso de la planta El Salado, si bien produce precipitados de cobre a partir de minerales óxidos, no es posible la aplicación de oxidación bacteriana debido a la presencia de atacamita ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$) que contribuye a levantar la concentración de cloruro (39.8g/L, siendo el máximo tolerable de 10g/L) en la solución de descarte. Por su lado, la planta Taltal también produce precipitados de cobre a partir de minerales óxidos, en ella tampoco es posible aplicar la tecnología debido a la presencia de atacamita y al uso de agua de mar para el proceso, siendo la concentración cloruro de 34.2g/L. Asimismo, el plan de traslado de esta planta alejado del litoral se hará simultáneamente con el cambio de proceso a SX-EW; por ende, no será de aplicación la tecnología.

No existen unidades de CODELCO que produzcan precipitados de cobre.

Las plantas de producción de precipitados de cobre fuera de ENAMI han ido reduciéndose a partir de los años noventa. Plantas como Doña Ada, El Indio, Fortuna de Cobre, La Cascada / Sagasca y Lo Aguirre, entre otras, han optado mayormente por el cambio a SX-EW, desapareciendo las plantas de mediana escala, quedando vigentes pocas plantas pequeñas posteriormente al año 2000.

(2) Drenaje ácido de roca (DAR) originado en minas (en actividad y abandonadas)

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

- ① Minas con rajes abiertos y subterráneos de minerales sulfurados de cobre, zinc, etc., especialmente con presencia de afloramientos de piritita (FeS_2) ubicados en la zona sur de la región Atacama (hacia el sur de Copiapó) que drenan DAR sin tratamiento. V.g. mina C.A. (① pH = 1.1; Fe^{2+} = 60mg/L; Fe-T = 60mg/L; Cu = 247mg/L; Cd = 0.06mg/L; Pb = 0.1mg/L; As = 0.06mg/L; ② pH = 3.9; Fe^{2+} = 190mg/L, Fe-T = 190mg/L; Cu = 548mg/L; Cd = 0.13mg/L; Pb = 0.2mg/L; As = 0.24mg/L).

El azufre contenido en los minerales sulfurados produce ácido sulfúrico mediante oxidación; y especialmente el caso de la piritita, como se mostró en la reacción 3 del acápite 8.3 (4), produce con suma facilidad agua ácida de bajo pH, al contacto con oxígeno y agua en presencia de bacterias. Asimismo, el azufre de la reacción 2 del mismo acápite produce ácido sulfúrico debido al metabolismo del *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus*

thiooxidans y otras bacterias como se muestra en la siguiente reacción.



El DAR así formado disuelve metales tóxicos (As, Cd, etc.) contaminando aguas freáticas y superficiales.

(3) Productos intermedios de refinación (humos de fundición)

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

- ① Refinería Ventanas de ENAMI
- ② Refinerías de CODELCO: Chuquicamata, Caletones (El Teniente), Potrerillos (El Salvador)
- ③ Refinerías de cobre del sector privado: refinería N.A., refinería D.C.

No obstante, en caso el contenido de hierro sea insuficiente para el tratamiento, se deberá adicionar ión férrico, como lo es el caso ①. Para los casos ② y ③ se requiere verificación.

Por otro lado, el caso de la fundición Paipote de ENAMI, debido a que no existe generación de polvo hacia el exterior del sistema, no es aplicable la tecnología.

(4) Lixiviación bacteriana de minerales sulfurados de cobre secundarios

La aplicación de esta modalidad se analizó abarcando a las siguientes instalaciones:

- ① Minas con presencia de minerales sulfurados secundarios como calcocita (Cu_2S) y covelita (CuS) en los minerales que procesa para la obtención de cobre electrolítico mediante el método SX-EW: V.g. mina E, mina Z., mina Q.B.

En el Cuadro 8-2 se muestra la situación de la gran minería de cobre de Chile.

8.5 Compilación

Se infiere que la prioridad de aplicación de la presente tecnología en Chile recae sobre el caso tratado en el acápite 8.4 (2) “drenaje ácido de roca (DAR) originado en minas (en actividad y abandonadas)”. No obstante, a pesar que la existencia de este tipo de contaminación debe extenderse ampliamente, la situación no es conocida.

En consecuencia, para su aplicación requerirá realizar estudios específicos de factibilidad. La compilación de éstos se muestra en el siguiente cuadro. Las partes con subrayado denotan aspectos a ser considerados para la aplicación, siendo específicos para cada situación.

Se estima que el ámbito de aplicación de esta tecnología es muy amplio en toda la región de Sudamérica.

**Cuadro 8-1 Aplicación de Oxidación Bacteriana para Drenaje Acido de Roca (DAR) en Minas
(Propuesta)**

(1) Estudio Ambiental

1) Estudio de la Situación

- ① Reconocimiento de las fuentes de contaminación: reconocimiento de las características del DAR (caudales y calidad de aguas de DAR y cuerpo receptor, calidad de sedimentos en el lecho del cuerpo receptor, concentraciones y carga de elementos tóxicos, etc.)
Asimismo, verificar simultáneamente la viabilidad de aplicar oxidación bacteriana de acuerdo a las condiciones de operación (pH, presencia de ácido sulfúrico, concentración de ión ferroso, presencia de *Thiobacillus ferrooxidans*, resistencia a elementos inhibidores, etc.)
- ② Estudio de la situación de contaminación: reconocimiento del grado del impacto mediante levantamiento de mapas de influencia (reconocimiento de zonas isotrópicas con la finalidad de clasificar las zonas afectadas según el grado del impacto y determinar las prioridades de remediación correspondientes).
- ③ Reconocimiento de los mecanismos de contaminación: reconocimiento para cada fuente de contaminación, los mecanismos de generación y propagación.
- ④ Estudio de la situación de daños: reconocimiento de la situación de daños a la salud humana, a otras actividades económicas, etc.

2) Sistema de Monitoreo

- ① Planeamiento de monitoreo: establecimiento de los ítems y puntos de monitoreo de acuerdo al estudio de reconocimiento de la situación.
- ② Análisis e interpretación: acumulación de datos mediante toma de muestras, análisis y mediciones en los puntos de monitoreo; y reconocimiento de la variabilidad en las fuentes, mecanismos e impactos mediante la interpretación de los registros.
- ③ Modelamiento: elaboración del modelo de simulación del mecanismo de contaminación y calidad de aguas.
- ④ Estudio de simulación: estimación de la calidad de aguas con la ejecución de medidas de prevención de contaminación empleando el modelo de simulación.

(2) Análisis de Medidas para DAR

- 1) Estudio de medidas de prevención de contaminación: análisis integral de técnicas de prevención de contaminación ocasionada por DAR y otras fuentes.
- 2) Análisis de técnicas de tratamiento de DAR: análisis detallado de la técnica adecuada para el caso chileno en particular.
- 3) Selección del proceso: selección de la medida de prevención de contaminación para cada fuente de contaminación. Análisis de viabilidad de aplicación de oxidación bacteriana. Estructuración del proceso de oxidación mediante *Thiobacillus ferrooxidans*: requerimiento de tecnología propia.
- 4) Pruebas de aplicación: reconocimiento de las condiciones óptimas para el proceso de tratamiento seleccionado.
- 5) Diseño de instalaciones: en principio, diseño conceptual priorizando fuentes de mayor impacto y análisis económico-financiero del proyecto; luego, diseño de ingeniería.

(3) Ejecución de Medidas de Prevención de Contaminación Generada por DAR

- 1) Construcción de planta modelo: construcción de planta modelo diseñado; y verificación de viabilidad del proceso y condiciones óptimas de operación.
- 2) Construcción de planta a escala.
- 3) Puesta en operación de planta a escala: ejecución de medida de prevención de contaminación.

Cuadro 8-2 Gran Minería de Cobre en Chile

No.	Mina	Titular	Mineral procesado* ⁵		Ubicación:	Producción en 2000 Cu × 10 ³ t/año
			Sulfuro	Oxido	Región	
1	Escondida	BHP 57.5+RTZ 30+JECO 10 * ¹ +IFC 2.5%	○	○	II	917
2	Chuquibambilla	CODELCO	○	○	II	630
3	Collahuasi	Falconbridge 44+AAC(Anglo American plc.) 44+Japan Conso. 12%* ²	○	○	I	436
4	El Teniente	CODELCO	○	○* ⁶	VI	356
5	Los Pelambres	Antofagasta Minerale plc. (Luksik) 50.55 +Anaconda Chile 9.45 +Japan Conso. 40%* ³	○		IV	310
6	Andina	CODELCO	○		V	258
7	Candelaria	Phelps Dodge 80+Sumitomo group 20%* ⁴	○		III	204
8	Radomiro Tomic	CODELCO		○	II	191
9	El Abra	Phelps Dodge 51+CODELCO 49%		○	II	191
10	Los Bronces	Exxon Mobil (Disputada de Las Condes)	○	○	M* ⁷	170
11	Zaldivar	Placer Dome	○	○	II	148
12	Cerro Colorado	Billiton (Rio Algom)		○	I	115
13	Mantos Blancos	AAC	○	○	II	102
14	Salvador	CODELCO	○	○	III	81
15	Quebrada Blanca	Aur 76.5+Pudahuel 13.5+ENAMI 10%	○	○	I	73
16	El Soldado	Exxon Mobil (Disputada de Las Condes)	○	○	V	68
17	Manto Verde	AAC		○	III	54
18	Michilla (Lince)	Antofagasta (Luksik)	○	○	II	53
19	Lomas Bayas	Bolden: Noranda+Falconbridge		○	II	51
20	Andacollo	Aur 63+Pacifico 27+ENAMI 10%		○	IV	21
21	El Indio	Barrick	○		IV	14
22	Ivan Zar	Milpo (Peru)		○	II	13
23	Minera Valle Central	Valle Central	○		VI	12
24	Punta del Cobre	Punta del Cobre	○		III	10
25	Las Luces	Las Luces	○		II	10
26	La Cascada	Pudahuel		○	I	5
27	Lo Aguirre	Pudahuel	○		M* ⁷	5

Notas *¹: Mitsubishi-shoji 6+Mitubishi-material 2+Nikko-kinzoku 2%

*²: Mitsui-bussan 6.9+Nikko-kinzoku 3.6+Mitsui-kinzoku 1.5%

*³: Nikko-kinzoku 15+Mitsubishi-material 10+Marubeni 8.75+Mitubishi-shoji 5+Mitsui-bussan 1.25%

*⁴: Sumitomo-kinzokukouzan 15+Sumitomo-shoji 5%

*⁵: Mineral sulfurado de cobre (proceso: flotación, producto: concentrado de cobre),

Mineral óxido de cobre (proceso: SX-EW, producto: cobre electrolítico [cátodo de cobre])

*⁶: El SX-EW se lleva a cabo procesando DAR.

*⁷: Metropolitana

9. Conclusiones

9. Conclusiones

El presente estudio llegó a concluir prácticamente de acuerdo al plan trazado, en un período de 39 meses a partir de octubre de 1999. No obstante, durante éste ocurrieron sucesos como la recesión, deflación e inestabilidad en la oferta de trabajo en el ámbito internacional, que afectaron globalmente a la economía y sociedad en general.

Particularmente, afectó a nuestro sector con un prolongado período de bajas cotizaciones del cobre, arrastrado desde mediados de la década anterior sin visos de recuperación. Incluso para la primera potencia mundial del cobre como Chile, si bien la gran minería pudo asimilar la coyuntura, la situación ha sido muy complicada para la pequeña y mediana minería que asume costos menos competitivos. Específicamente el caso de ENAMI es notorio, por su actividad dependiente directamente de este último sector, diezmando su capacidad de fomento debido a la constante baja productividad sufrida en los últimos años, siendo sus perspectivas inciertas.

Aunque podría generar incongruencias con respecto a las funciones que debe cumplir ENAMI en su sector, en las actuales circunstancias se prefiere modificar hacia una postura menos dependiente del sector minero. Es decir, se propone una estructura basada en la explotación directa de sus propiedades mineras, con el objeto de mejoramiento de la productividad en planta, consecuente con mejoras en los aspectos financieros y administrativos.

La incidencia mayor al mejoramiento de las operaciones recae en la economía de escala mediante incremento de la producción; sin embargo, es viable realizar pequeños mejoramientos en los procesos que contribuyan en suma al incremento de las utilidades. Para ello, es menester la realización de pruebas fundamentales y acumulación de experiencia.

En cuanto a la planta modelo de tratamiento de solución de descarte, es posible mencionar que gracias a la colaboración eficaz de la contraparte chilena en cada una de las etapas del proceso, desde las pruebas en laboratorio hasta las pruebas en planta, pasando por los trabajos de diseño, instalación y marcha blanca, los resultados obtenidos han superado los objetivos iniciales. Se verificó por un lado, la factibilidad de tratamiento de la solución de descarte durante las operaciones de prueba; del mismo modo se pudo superar la capacidad de tratamiento estimado en el plan. En suma, incluyendo la transferencia de tecnología, es posible concluir que los resultados esperados del proyecto han sido plasmados.

Se elaboró un diseño conceptual de una planta a escala para tratar 600m³ diarios, íntegramente la solución de descarte a ser generado con la máxima capacidad de procesamiento de minerales, consistente de 14,000 toneladas mensuales; operándose en forma anexa a la planta modelo existente, estimándose una inversión de poco más de US\$2 millones para la ampliación. Sobre este proyecto se realizó un estudio de factibilidad considerando la planta de procesamiento de minerales óxidos incluyendo el tratamiento de solución de descarte, con resultados del análisis de flujo de caja descontado, inviable para todos los casos tratados bajo los conceptos de la inversión privada, dificultando la decisión de ejecutar las medidas de prevención de contaminación.

Sin embargo, la evaluación de medidas de prevención de contaminación requiere considerar aspectos más amplios involucrando factores de índole social, como las externalidades del

proyecto. En particular, se consideró cuantificar los beneficios económicos inherentes a la zona de influencia (sectores agrícola y minera, entre otros). Específicamente: 1) Remediación de depreciación de terrenos afectados por la contaminación; 2) Beneficios económicos para las minas de la circunscripción debida a la continuidad de operaciones en la planta Ovalle; y, 3) Beneficios económicos para los usuarios de agua de la circunscripción debida a la racionalización de agua en la planta.

Los resultados de la internalización de estas externalidades en el análisis de factibilidad, concluyeron en la viabilidad de construir la planta a escala de tratamiento de solución de descarte, equivalente al procesamiento mensual de 14,000 toneladas de mineral crudo, para cotizaciones del cobre mayores a 68¢/lb.

De estos resultados, se propone en conclusión, mejorar la productividad hasta alcanzar el nivel de procesamiento de 14,000 toneladas mensuales, y la construcción de la planta a escala para el tratamiento integral de la solución de descarte a ser generado. Bajo este esquema, se prevendrá la contaminación externa y se reciclará la solución tratada al circuito de lixiviación, mejorando a su vez la recuperación de cobre; con ello aproximarse a una operación ideal desde los puntos de vista técnico y ambiental.

Sin embargo, la inversión involucrada a este proyecto es compleja bajo la actual coyuntura. De modo que la decisión queda en pos del directorio de ENAMI, quizás en espera de la recuperación del precio de cobre en el futuro. Sin embargo, la propuesta consiste en operar a capacidad instalada de 14,000t/mes con ampliación a escala de la planta de solución de descarte, para cuando la situación viere a favorable, por ende, el nivel de operación sobre 6,000t/mes debe tratarse de una situación coyuntural.

Ante esta situación, se requiere analizar el *modus operandi* amigable al medio ambiente en los actuales niveles de productividad, aprovechando a su máxima capacidad la planta modelo. Sobre este aspecto, se analizó en forma conjunta con la parte chilena los procedimientos transitorios, que hace mención el presente informe.

De acuerdo a la información obtenida y los resultados de estudios en campo, el ámbito de aplicación y difusión de las medidas de prevención de contaminación efectuada en la planta Ovalle, es limitado tal cual se practicó en ésta. Razón por la cual, se decidió ampliar el concepto abarcando a sectores dónde aplicar la tecnología bacteriana. Estos conceptos carecen de definición, sin embargo, se espera que sean desarrollados por parte de ENAMI.

Finalmente, con la concienciación de prevención de la contaminación observada en los últimos años, y de acuerdo a la política de asumir la responsabilidad del que la genera, se propone prevenir nueva contaminación en planta Ovalle y restaurar los pasivos ambientales en forma decidida. Con la finalidad de presentar los logros alcanzados en la planta Ovalle y los temas relacionados a la prevención de contaminación, se realizaron sendos seminarios en las ciudades de La Serena (marzo de 2002) y Santiago (octubre de 2002), tratando de concienciar a la audiencia y la sociedad en general.

Como conclusión del presente estudio, agradecemos la cordialidad y cooperación mutua durante todo el período del estudio; asimismo por la disponibilidad de ENAMI e instituciones

relacionadas tanto en la apertura de información como por las facilidades brindadas para la realización de actividades. Esperamos en un futuro muy próximo, la planta Ovalle alcance la excelencia técnica, económica y ambiental.