



**FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y QUÍMICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA PLANTA
GENERADORA DE SULFATO FÉRRICO
BIOHIDROMETALÚRGICO EN FUNDICIÓN
CALETONES DIVISIÓN EL TENIENTE CODELCO CHILE**

Tesis de Título Presentada por

JOCELYN JIMENA OSORIO LEIVA

Como Requisito Parcial para Obtener el Título de

INGENIERO AMBIENTAL

Profesor Guía

María Eliana Portal Montenegro
Universidad de Valparaíso

Profesor Correferente

Pedro Jesús Sandoval Rojas
Ingeniero Asesor Codelco Chile

Valparaíso, Julio de 2005.

Dedico este trabajo, con todo mi amor, a mi familia.

Especialmente a mi madre, María Leiva y a mi hermana María Teresa, por todo el cariño, comprensión, por creer en mí y apoyarme siempre en todas mi ideas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<i>Página</i>
AGRADECIMIENTOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. CAPÍTULO “MARCO TEÓRICO”	1
1.1 GENERALIDADES DE ACTIVIDAD MINERÍA	2
1.2 PROCESOS MINERO- METALÚRGICOS DE COBRE	3
1.2.1 Concentración y Procesamiento de Minerales de Cobre	3
1.2.1.1 <i>Minerales Sulfurados</i>	4
1.2.1.2 <i>Minerales Oxidados</i>	6
1.3 GENERALIDADES DE LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN CALETONES	7
1.3.1 Convertidor Teneinte.....	8
1.3.2 Convertidor Pierce-Smith	8
1.3.3 Horno de Limpieza de Escorias.....	9
1.3.4 Planta Granallado de Escorias	13
1.3.5 Planta Limpieza de Gases	14
1.3.6 Planta de Tratamientos de Efluentes.....	17
1.4 IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA DEL COBRE	21
1.5 FUNDAMENTACIÓN DEL SULFATO FÉRRICO	23
1.5.1 Sulfato Férrico.....	24
1.5.2 Obtención del Sulfato Férrico	25
1.5.2.1 <i>Oxidación Química del Ión Ferroso</i>	26
1.5.2.2 <i>Biooxidación utilizando Bacterias Ferrooxidantes</i>	27
1.5.3 Aplicaciones del Sulfato Férrico.....	29
1.5.4 Regulaciones Asociadas al Sulfato Férrico	31
1.5.5 Efectos del Sulfato Férrico.....	37
1.6 GENERALIDADES DEL PROYECTO	38
1.6.1 Marco Referencial del Proyecto.....	38
1.6.1.1 <i>Lixiviación Ácida</i>	38
1.6.1.2 <i>Biooxidación Bacteriana</i>	39

1.6.1.2.1	Acidithiobacillus ferrooxidans	40
1.6.1.2.2	Cepa Mixta Barahona	40
1.6.1.3	<i>Características de los tipos de lixiviación</i>	42
2.	CAPÍTULO “MARCO INTRODUCTORIO”	45
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	46
2.2	OBJETIVOS	48
2.2.1	Objetivo General	48
2.2.2	Objetivos Específicos.....	48
2.3	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	49
3.	CAPÍTULO “DIAGNÓSTICO”	57
3.1	ANTECEDENTES GENERALES PROYECTO	58
3.1.1	Propósito General del Proyecto	58
3.1.2	Especificaciones de las Pilas	59
3.1.3	Etapas del Proyecto	61
3.1.3.1	<i>Diseño de Obras Físicas</i>	61
3.1.3.2	<i>Etapas de Construcción</i>	62
3.1.3.3	<i>Fase de Operación</i>	62
3.1.4	Localización del Proyecto	63
3.2	CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL PROYECTO.....	65
3.2.1	Materias Primas	65
3.2.1.1	<i>Escoria Horno Limpieza De Escorias</i>	65
3.2.1.2	<i>Ácido Sulfúrico</i>	65
3.2.2	Energía.....	65
3.2.3	Agua.....	66
3.2.4	Emisiones Atmosféricas.....	66
3.2.5	Residuos Líquidos Industriales	66
3.2.6	Residuos Sólidos Industriales.....	67
3.2.7	Sustancias Peligrosas.....	68
3.2.7.1	<i>Ácido Sulfúrico</i>	68
3.2.7.2	<i>Sulfato Ferroso</i>	68
3.2.7.3	<i>Sulfato Férrico</i>	68
3.2.8	Contaminación Acústica.....	69

3.3	DESCRIPCIÓN ÁREA DE INFLUENCIA.....	70
3.3.1	Área Temática Recursos Físicos	70
3.3.1.1	<i>Clima</i>	70
3.3.1.1.1	Clasificación Climática	70
3.3.1.1.2	Precipitaciones.....	71
3.3.1.1.3	Nieve Caída	73
3.3.1.1.4	Temperaturas.....	74
3.3.1.1.5	Humedad Relativa	74
3.3.1.1.6	Radiación Solar.....	74
3.3.1.1.7	Presión Atmosférica.....	74
3.3.1.2	<i>Gemorfología</i>	75
3.3.1.2.1	Relieve	76
3.3.1.2.2	Paisaje	77
3.3.1.3	<i>Hidrografía e Hidrología</i>	77
3.3.1.4	<i>Suelo</i>	81
3.3.1.5	<i>Distribución de la Vegetación</i>	82
3.3.1.6	<i>Distribución de la Fauna</i>	83
3.3.2	Área Temática Social Institucional.....	90
3.3.2.1	<i>División Administrativa del Territorio</i>	90
3.3.2.2	<i>Patrimonio Natural</i>	92
3.3.2.2.1	Reserva Nacional Río Cipereses	92
3.3.2.2.2	Reserva Nacional Roblería del Cobre.....	93
3.3.2.3	<i>Demografía</i>	94
3.3.2.3.1	Distribución y Tamaño de la Población.....	94
3.3.2.4	<i>Sociología</i>	96
3.3.2.4.1	Contexto Histórico División El Teniente	96
3.3.2.4.2	Patrón Cultural	98
3.3.2.5	<i>Influencia Antropogénica</i>	100
3.3.3	Área Temática Producción.....	103
3.3.3.1	<i>Minería</i>	104
3.3.3.2	<i>Agropecuario-Silvícola</i>	105
3.3.3.3	<i>Avícolas y Ganadería</i>	106
3.4	LEGISLACIÓN APLICABLE AL PROYECTO.....	107
3.4.1	Leyes Generales	107
3.4.2	Emisiones Atmosféricas.....	108
3.4.3	Residuos Líquidos.....	108
3.4.4	Residuos Sólidos	108
3.4.5	Otras Regulaciones y Permisos.....	109

4. CAPÍTULO “EVALUACIÓN”	110
4.1 APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS DE TRABAJO	111
4.1.1 Identificación de Aspectos Ambientales	111
4.1.2 Valoración de Aspectos Ambientales	114
4.2 MEDIDAS DE GESTIÓN AMBIENTAL PROPUESTAS	116
4.2.1 Requisitos Legales	116
4.2.1.1 <i>Revisión Normativa según S.E.I.A.</i>	116
4.2.1.2 <i>Revisión Normativa General</i>	119
4.2.2 Verificación y Acción Correctiva	119
4.2.2.1 <i>Monitoreo y Medición</i>	119
4.2.2.1.1 Monitoreo Atmosférico	119
4.2.2.1.2 Monitoreo de Ruidos	121
4.2.2.1.3 Monitoreo Meteorológico	123
4.2.2.1.4 Monitoreo de Suelos	124
4.2.2.2 <i>Hojas de Seguridad Actualizadas</i>	125
CONCLUSIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	135

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
Tabla N° 1.1 Composición de la Escoria Convertidor Pierce-Smith	9
Tabla N° 1.2 Ciclo Operacional de los Hornos de Limpieza de Escorias	12
Tabla N° 1.3 Recuperación de Cobre en el año 2003 (Resumen)	13
Tabla N° 1.4 Análisis Escoria Granallada	13
Tabla N° 1.5 Composición Química del Ácido Sulfúrico Producido	14
Tabla N° 1.6 Análisis Químico del Efluente Producido en Planta Limpieza de Gases	15
Tabla N° 1.7 Efluentes de Fundiciones de Cobre a Nivel Mundial	20
Tabla N° 1.8 Legislación Aplicable	32
Tabla N° 2.1 Nivel de Significancia Método F.I.E.R.P.L.	51
Tabla N° 2.2 Rangos de Importancia (Matriz de Valoración)	54
Tabla N° 3.1 Análisis Experimental de Escoria Lixiviada	67
Tabla N° 3.2 Registro Vegetacional de la VI Región	85
Tabla N° 3.3 Registro Vegetacional de la VI Región (Continuación)	86
Tabla N° 3.4 Registro Faunístico de la VI Región	90
Tabla N° 4.1 Información para Base de Cálculo de Material Particulado PM 10	120
Tabla N° 4.2 Información para Base de Cálculo de Presión Sonora	122
Tabla N° 4.3 Niveles de Ruido del Proyecto	123
Tabla N° 4.4 Parámetros Climáticos	124
Tabla N° 4.5 Distribución Usos de Suelos	125

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1.1 Diagrama del Horno de Limpieza de Escorias	10
Figura N° 1.2 Camión utilizado para el Transporte de Escorias	11
Figura N° 1.3 Fases del Proceso de Vaciado del Horno	12
Figura N° 1.4 Diagrama del Proceso de Limpieza de Gases	16
Figura N° 1.5 Diagrama del Proceso en Planta Tratamiento de Efluentes	20
Figura N° 1.6 Cadena de Transporte de Electrones en Acidithiobacillus ferrooxidans	28
Figura N° 1.7 Etiquetas de Seguridad para el Sulfato Ferroso	35
Figura N° 1.8 Etiqueta de Seguridad del Sulfato Férrico	36
Figura N° 1.9 Etiqueta Seguridad Sulfato Férrico Alternativa	36
Figura N° 1.10 Gráfica Comparativa del Consumo de Iones Férricos	41
Figura N° 2.1 Matriz del Método F.I.E.R.P.L.	51
Figura N° 2.2 Matriz de Valoración Cualitativa	55
Figura N° 3.1 Procesos de la Planta Generadora de Sulfato Férrico	59
Figura N° 3.2 Configuración de las Pilas y Biopilas de Lixiviación	61
Figura N° 3.3 Etapas e Infraestructura de la Planta de Sulfato Férrico	63
Figura N° 3.4 Ubicación Geográfica del Proyecto	64
Figura N° 3.5 Precipitaciones Zona de Estudio	72
Figura N° 3.6 Ríos y Quebradas en la Cuenca del Río Coya	80
Figura N° 3.7 Ejemplar de Zorro (Pseudolopex sp.)	83
Figura N° 3.8 Panal de Abejas (Apis mellifera)	84
Figura N° 3.9 Garza Cuca (Ardea cocoi)	88
Figura N° 3.10 Golondrina Chilena (Tachycineta meyeni)	89
Figura N° 3.11 Sexta Región del Libertador Bernardo O'Higgins	92
Figura N° 3.12 Hacienda Ecológica de Loncha	94
Figura N° 3.13 Distribución de la Población Urbano-Rural de la VI Región	94
Figura N° 3.14 Distribución Poblacional de la Comuna de Machalí	95
Figura N° 3.15 Primer Embarque de Cobre de El Teniente	97
Figura N° 3.16 Ferrocarril Utilizado en El Teniente	97
Figura N° 3.17 Iglesia Santa Rosa de Pelequén	99
Figura N° 3.18 Mimbres de Chimbarongo	99
Figura N° 3.19 Participación de la VI Región por Actividad Económica	103
Figura N° 3.20 Variación P.I.B en VI Región	104
Figura N° 3.21 Producción Regional de Huevos	106

Figura N° 4.1	Matriz de Resultados Identificación de Impactos por Procesos.....	112
Figura N° 4.2	Matriz de Resultados Método F.I.E.R.P.L.	113
Figura N° 4.3	Resultados Valoración de Aspectos Ambientales	115
Figura N° 4.4	Cuestionario de Ingreso al S.E.I.A Art. 11 Ley N° 19.300	117
Figura N° 4.5	Cuestionario de Ingreso al S.E.I.A D.S N° 95/2001	118

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer especialmente a Patricio Chacana, Superintendente Ingeniería Procesos, por la oportunidad de realizar este trabajo de título en sus dependencias. Agradezco a todos aquellos forman parte del SIP, el grupo humano que siempre estuvo dispuesto a colaborar: Jesús Sandoval, por guiar esta memoria y contribuir a su desarrollo; Raimundo R., Vicky P., Lucho I., María Inés y todos aquellos que de alguna u otra forma, hicieron grata mi estadía en Caletones.

A Cecilia y Patricio, por todo el cariño y apoyo brindado. Por dejarme compartir en su hogar y acogerme como un miembro más de su familia. A los mellizos, Nicolás y Rafael, porque sin quererlo, formaron parte de este hermoso y arduo trabajo.

A María Eliana Portal, por tutelar este trabajo; guiar, colaborar y aportar buenas ideas durante el paso a paso de esta memoria. A Patricio Arellano, por su cooperación y disposición ante cualquier duda.

A mis padrinos, Pedro y Teresa, por la preocupación, apoyo y confianza que demostraron siempre durante mi estadía en la universidad. Además, por ser grandes vecinos, amigos y compañeros de mi madre y toda mi familia.

A mis amigas, Lorena L., Marianela G., Germaynee V., mis primas Patricia y Erika, por su amistad, apoyo y preocupación durante los años en la “u” y especialmente, durante el inicio y fin de la tesis.

A Mario, por su apoyo y comprensión.

A todos, muchas gracias...

Jose'

RESUMEN

El desarrollo productivo de nuestro país está basado en la minería, específicamente en la explotación del cobre. División El Teniente, genera a la fecha 1.130.000 (ton/año) de concentrados de cobre, lo que se traduce en la generación de gases metalúrgicos como el anhídrido sulfuroso, arsénico, polvos y otras impurezas, que deben ser purificados y tratados por Plantas de Limpieza de Gases, las que durante el desarrollo de dicho proceso originan como subproducto ácido sulfúrico. A esto se suma, el aumento proporcional de escorias de descarte, que a la fecha alcanza un total de 750.000 (ton/año). Algunos autores (Estefanakis, 1998) proponen la lixiviación (biolixiviación) de desechos de fierro (como la escoria) con ciertas concentraciones de ácido sulfúrico para la obtención final de sulfato férrico, compuesto usado en operaciones hidrometalúrgicas, tratamiento de drenajes ácidos de mina, efluentes de procesos industriales como purificación de gases o soluciones con metales pesados (Donelly *et al.*, 2000).

Los desechos generados por la limpieza de gases, son recepcionados por la Planta de Tratamiento de Efluentes con el propósito de obtener residuos (sólidos y líquidos) estables y seguros para el medio ambiente. Justamente en esta fase, es utilizado el sulfato férrico, polímero y coagulante especificado para tratar correctamente los residuos arsenicales. El que de acuerdo a numerosas investigaciones (Casas de Prada *et al.*, 2000) es capaz de precipitar grandes cantidades de arsénico y metales disueltos bajo una forma más estable y segura, arsenato férrico. Actualmente fundición Caletones adquiere el sulfato férrico de un proveedor externo, sin embargo, entre sus proyectos a corto plazo, planea la instalación de una planta productora de este compuesto, por lo que la producción propia dentro de las instalaciones industriales, permitiría aminorar costos y vigilar de cerca la producción del compuesto.

Con tal propósito, se hace necesario identificar los posibles impactos sobre el medio ambiente derivados por las fases de construcción y operación de la Planta Generadora de Sulfato Férrico, para evaluar correctamente su producción e implicancia sobre el medio ambiente y el ser humano. De esta manera, la propuesta de medidas de gestión, manejo y disposición final de eventuales desechos, se hace indispensable en lo referido al mejoramiento continuo pregonado por la empresa. La metodología de evaluación incluirá la recopilación de antecedentes bibliográficos, aplicación de listas de chequeo prediseñadas (Hewitt & Gary, 1999) y matrices de valoración cualitativa (Conesa, 1997).

Con todos estos antecedentes, se espera obtener una completa Evaluación Ambiental del Proyecto de Generación de Sulfato Férrico, que sirva como referente para la futura puesta en marcha de ésta.

ABSTRACT

The productive development of our country is based on the mining activities, specifically in the copper extraction. The Division El Teniente, generates to date 1.130.000 (ton/year) of copper concentrated, these activities generate diverse metallurgical gases like sulfur anhydride, arsenic, particulate material and other impurities, that must be purified and be treated by Gas Cleaning Plants, that they generate, how a by-product sulfuric acid. Also 750,000 (ton/year) of solid waste are generated. Some researchers (Estefanakis, 1998) propose the leaching (bioleaching) of iron remainders (like the dreg) with certain sulfuric acid concentrations for the final ferric sulphate obtaining, that is used in hydrometallurgical operations, treatment of acid drainages of mine, effluents of industrial processes like gas purification or solutions with heavy metals (Donnelly *et al.*, 2000).

The remainders generated by the gas cleaning, are sent to the remainders treatment plant with the intention to obtain stable and safe remainders (solid and liquid) for the environment. In this phase, the ferric, polymeric and coagulating sulphate is used specified to treat the arsenical remainders. That according to many researchers (Casas de la Prada *et al.*, 2000) is able to precipitate great amounts of arsenic and dissolved metals to a more stable and safe form, ferric arsenate. Today Caletones smelter acquires ferric sulphate of an external supplier, however, one of the projects is the installation of a plant to produce this compound, this will allow to lower costs and keep controlled the ferric sulphate production.

Of such intention, it is necessary to identify the possible impacts on the environment derived by the phases from construction and operation of Ferric Sulphate Generating Plant. This way, the proposal of measures of management, handling and final disposition of possible remainders, becomes necessary to evaluate the continuous improvement announced by the company. The evaluation methodology will include the compilation of bibliographical antecedents, application of predesigned lists of control (Hewitt & Gary, 1999) and charts of qualitative evaluation (Conesa, 1997).

With all these antecedents, this work looks for to obtain a complete environmental evaluation of the ferric sulphate generation project, that it will be used as referring for the future beginning of the plant.

1. CAPÍTULO “MARCO TEÓRICO”

1.1 GENERALIDADES DE LA ACTIVIDAD MINERA

La actividad minera es la principal fuente productiva del país. El desarrollo del país ha estado siempre asociado a la minería, el cobre es uno de los principales productos de exportación, ya en la década del 90, la minería participaba con un 8 -10% del producto interno bruto (PIB), más del 40% de las exportaciones y alrededor del 2% de la ocupación nacional. Sin lugar a dudas, es el producto más relevante del sector minero nacional (metálico - no metálico). En la actualidad, más del 60% de su producción está en manos del sector privado y Chile es el primer productor mundial con más de 4,6 millones de toneladas métricas de cobre fino que representan el 35% del cobre mundial (Cochilco, 2005).

Los recursos económicos obtenidos por la actividad minera, tanto de la empresa estatal como de la tributación de las empresas privadas, pasan a formar parte de la base del presupuesto nacional, el cual se distribuye en gasto social e inversiones públicas a través de todo el país, además de la generación de empleo directa del sector en regiones típicamente descentralizadas, conlleva un impacto en el desarrollo local y regional. No obstante estos beneficios para el país, las faenas e industria minera han provocado a menudo daños en el medio ambiente.

Los problemas ambientales más importantes derivados de la actividad minera en Chile son: la contaminación del aire por emisiones de gases y partículas desde establecimientos mineros, metalúrgicos y termoeléctricas; la contaminación del agua por descarga de efluentes líquidos conteniendo sólidos en suspensión y metales disueltos; la contaminación de suelos por la disposición de residuos peligrosos, la erosión causada por grandes movimientos de tierra y la carencia de gestión ambiental en la pequeña minería.

Estas circunstancias, hacen que la interacción minero-ambiental sea muy importante, desde el punto de vista salud y calidad de vida, como por las implicaciones sociales y económicas que indudablemente trae consigo este importante producto nacional.

1.2 PROCESOS MINERO- METALÚRGICOS DE COBRE

Los procesos involucrados en la obtención del cobre son diversos y dependen de múltiples factores. Aquellos más utilizados en la industria están determinados por: profundidad, composición y localización del mineral; razón estéril-mineral y características ambientales.

Las etapas comunes que debe realizarse para la extracción y preparación del mineral antes de ser procesado son: perforación, tronadura, carguío y acopio, transporte de la roca mineralizada y de la estéril, chancado y molienda.

Todas estas etapas producen impacto ambiental en el componente aire, debido a polvos respirables que contienen principalmente sílice (SiO_2) y otros elementos contaminantes, gases de combustión (CO , NO_x , SO_x , HC) si se utiliza camiones, y gases de tronadura, principalmente NO_x . Es necesario considerar el impacto por ruido y vibraciones, pues afecta el ambiente laboral.

1.2.1 CONCENTRACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES DE COBRE

Hasta la etapa de molienda básicamente, los procesos utilizados por la minería son semejantes, luego la diferencia radica en el origen de los minerales a procesar, ya sea oxidados o con características sulfuradas.

1.2.1.1 MINERALES SULFURADOS

Las especies minerales de mayor relevancia comercial y que son susceptibles de ser explotadas son: Calcopirita (CuFeS_2), Calcosina (Cu_2S), Covelina (CuS) y Bornita (Cu_5FeS_4). Entre las especies denominadas minerales secundarios por su alto contenido de arsénico y elementos contaminantes se destaca: Enargita (Cu_3AsS_4), Tenantita (Cu_3AsS_3) y Arsenopirita (CuFeAsS).

Las especies minerales sulfuradas están presentes más frecuentemente en los procesos de extracción de cobre y dan origen al tratamiento pirometalúrgico de los sulfuros, cuya matriz es principalmente azufre. Dicho azufre, que forma una mezcla mecánica junto al cobre y otras especies, es el causante principal de la formación de la especie gaseosa SO_2 , sin duda, mucho más que cualquier combustible empleado.

Después de que el material ha sido reducido a un tamaño apropiado, es sometido a algún proceso de concentración (flotación por ejemplo), que separa la mezcla de diversos granos minerales en dos o más productos, obteniéndose una porción enriquecida denominada concentrado que contiene la mayor parte del mineral y una cola o descarte, que contiene esencialmente la ganga de la roca mineralizada que es conducida a un tranque de relaves. Después de la etapa de flotación, la solución rica es sometida a procesos de filtración y secado, para pasar posteriormente a los ciclos pirometalúrgicos.

Los procesos más comunes aplicados en el tratamiento de sulfuros de cobre o combinación de algunos de ellos, para el caso de nuevas tecnologías, son los siguientes:

a) *Flotación*: Proceso utilizado para la concentración de minerales sulfurados de cobre. Opera mediante la adición de burbujas de aire en el fondo del recipiente, debido a características físico-químicas de los sulfuros y de los

reactivos químicos agregados, éstos se adhieren a las burbujas y suben junto a ellas a la superficie, obteniéndose una espuma que contiene los concentrados del mineral (CIMM, 1995).

b) Tostación: Este procedimiento tiene por objetivo oxidar los minerales sulfurados por medio de aire. La partícula de sulfuro es expuesta a una corriente de aire arrastrando el SO₂ consigo.

c) Fusión: El proceso de fusión a mata es el tratamiento estándar para los sulfuros de concentrado de cobre. Su propósito es separar los sulfuros metálicos de la ganga. Ello se logra fundiendo los minerales a una temperatura aproximada de 1.250°C. En la fusión, las materias primas empleadas se separan en dos capas líquidas: la escoria, que contiene a la ganga y la mata o eje que contiene a los sulfuros metálicos.

d) Conversión: Es el procedimiento que utiliza el soplado de aire o aire enriquecido con oxígeno sobre la mata fundida proveniente del reverbero, con el objeto de obtener su oxidación (Olca, 1995). Se distinguen dos etapas, la primera que se caracteriza por producir la oxidación del sulfuro de hierro que se transforma en óxido de hierro, y la segunda, cuando se realiza el soplado a través del metal blanco, éste se oxida.

e) Refinación a Fuego: Los minerales producidos por fusión, requieren ser sometidos a un proceso que les permita alcanzar una pureza comercialmente aceptable. En el refinado a fuego, se procede a fundir la carga a través de oxidación por medio de aire; por sobre el baño se logra oxidar las impurezas metálicas mediante la introducción de agentes reductores capaces de transformar el óxido cuproso a cobre metálico.

f) Refinación Electrolítica: Consiste básicamente en la disolución del cobre (contenido en el ánodo) en una solución ácida de sulfato cúprico y la

deposición de una cantidad equivalente de este cobre sobre el cátodo, mediante la aplicación de potencial eléctrico entre placas. Se forman cátodos de cobre con una pureza de 99,95% de cobre y con un peso de alrededor de 135 (Kg).

1.2.1.2 MINERALES OXIDADOS

Tienen su origen en la descomposición y oxidación de los minerales sulfurados, que generalmente se encuentran en las regiones superiores de los depósitos. Los principales minerales oxidados encontrados en minas con estas características son: Malaquita $[(\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2)]$, Azurita $[(2\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2)]$, Cuprita (Cu_2O) y Maloconita (CuO). La rama que trata este tipo de minerales es la hidrometalurgia, cuyas emisiones son menos importantes a nivel ambiental sobre todo en el ámbito atmosférico; más bien, su importancia a nivel ambiental radica en sus efluentes. Existen diversas tecnologías para recuperar el cobre mediante procesos hidrometalúrgicos, entre las que podemos destacar:

a) *Lixiviación*: Consiste básicamente en la recuperación de los metales contenidos en un mineral, solubilizándolos con una solución que se hace escurrir a través de dicho cuerpo mineralizado (Mayores antecedentes Punto 1.6.1.3).

b) *Extracción por solventes*: La solución rica proveniente de la lixiviación se pone en contacto con una solución orgánica inmisible en agua y con solventes orgánicos (benceno, kerosene, etc), aprovechando que ciertos reactivos orgánicos tienen afinidad con algunos iones metálicos y ninguna afinidad con otros como Fe, Mg y Al. Luego la mezcla se agita aumentando la cinética de la reacción, resultando uniones afines con los metales que se pretende recuperar.

c) *Electro-obtención*: En esta etapa se recupera el cobre contenido en la solución proveniente de la etapa de extracción por solvente, mediante el proceso de electrorefinación, el que necesita una importante cantidad de ácido sulfúrico.

d) *Cementación*: Es un método químico, mediante el cual se utiliza el hierro para extraer el elemento útil (cobre) de la solución ácida. Consiste en vaciar las soluciones de sulfato de cobre a estanques que están llenos de chatarra de hierro, reaccionando el sulfato con el hierro y liberando el cobre.

e) *Precipitación Electrolítica*: Se obtiene por la aplicación de corriente eléctrica continua; con ello se logra descomponer las soluciones provenientes de la lixiviación; a su paso por la solución, la corriente eléctrica descompone el sulfato de cobre, depositando cobre puro sobre el cátodo o lámina de partida.

1.3 GENERALIDADES DE LOS PROCESOS EN FUNDICION CALETONES

Este Proyecto de Título abordará los procesos de la Fundición Caletones que se encuentren directamente relacionados con la Evaluación Ambiental de la propuesta de implementar una planta, cuya finalidad es la recuperación de fierro y generación de *Sulfato Férrico* ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) a partir de un proceso combinado de lixiviación de escorias de descarte generadas en los Hornos de Limpieza de Escorias (HLE), mediante la adición de ácido sulfúrico producido en las Plantas de Limpieza de Gases (PLG) y la bio-oxidación del ión ferroso por medio de la acción catalítica del cultivo mixto de bacterias compuesto por *Acidithiobacillus ferrooxidans*¹ y una cepa nativa del Tranque Barahona (Proyecta Ingeniería S.A., 2002).

¹ El género *Thiobacillus* ha sido reclasificado recientemente y la especie *Thiobacillus ferrooxidans* ha sido renombrado a *Acidithiobacillus ferrooxidans* (Meruane, 2002).

1.3.1 CONVERTIDOR TENIENTE

El proceso de fusión se realiza en Convertidores Teniente y se inicia con la inyección de concentrado seco en forma neumática, por medio de toberas al baño fundido del reactor. Se aprovecha el calor generado por la reacción del oxígeno presente en el aire de soplado con los sulfuros de fierro y cobre contenidos en el concentrado, que genera un eje de alta ley o metal blanco de 74 a 76% de cobre, una escoria con 4 a 8% de cobre y 16 a 18% de Fe_3O_4 , además de una corriente continua de gases con un 25 a 35% de SO_2 en la boca del reactor y cuya concentración depende principalmente del enriquecimiento en oxígeno del aire de soplado.

La separación entre el metal blanco y la escoria se produce por diferencia de densidad, siendo el metal blanco el de mayor densidad. El metal blanco producido es evacuado periódicamente a través de pasajes de sangría y transferido mediante tazas (ollas) a los Convertidores Pierce-Smith (CPS), donde se efectúa la conversión a cobre blíster.

1.3.2 CONVERTIDOR PIERCE-SMITH

El metal blanco con un 74 a 76% de cobre producido en los Convertidores Teniente y Hornos de Limpieza de Escoria, es transportado en ollas de 42 toneladas de capacidad a los CPS para realizar el proceso de conversión. El propósito de la conversión del metal blanco es eliminar el fierro, azufre y otras impurezas mediante un proceso de oxidación a alta temperatura.

Para lograr este resultado se inyecta en el baño líquido aire de soplado por toberas. Una vez obtenido el cobre metálico o blíster con un 99% de pureza, pasa a la etapa de refinado y moldeo, donde es tratado en los Hornos Anódicos y Hornos de Refinado a Fuego (RAF). La Composición de la Escoria producida en los Convertidores Pierce-Smith se aprecia en la Tabla N° 1.1, posteriormente ésta es enviada al Convertidor Teniente.

Tabla N° 1.1 Composición de la Escoria CPS.

Elemento Químico	Cantidad
Cu	17,3 %
As	510 ppm
Bi	< 1 ppm
Pb	1380 ppm
S	0,26 %
Sb	180 ppm
Fe	44,1%
Se	125 ppm
SiO ₂	10 %
Fe ₃ O ₄	58,8%

Fuente: CIMM, 2004.

1.3.3 HORNO DE LIMPIEZA DE ESCORIAS

La limpieza de escorias busca recuperar el cobre contenido en éstas a través de un proceso de reducción y sedimentación. La escoria final es transportada al botadero (< 1% de cobre) y el metal blanco se transfiere a los Convertidores Pierce-Smith para su transformación a cobre blíster. La productividad de los Hornos de Limpieza de Escorias (HLE) alcanza valores promedio, superiores a las 800 (ton/día).

En la Figura N° 1.1 se observa el Diagrama General del Horno de Limpieza de Escorias. El proceso semi-continuo de limpieza de escorias en el HLE consiste en la reducción de cantidades menores de escorias de conversión en un baño líquido de menor viscosidad, con retiros equivalentes y oportunos de metal blanco sedimentado y escoria reducida.

En la práctica, la escoria alimentada es la necesaria para producir una taza de escoria a botadero y el metal blanco se extrae después de un número determinado de ciclos, dependiendo del contenido de cobre en la escoria alimentada.

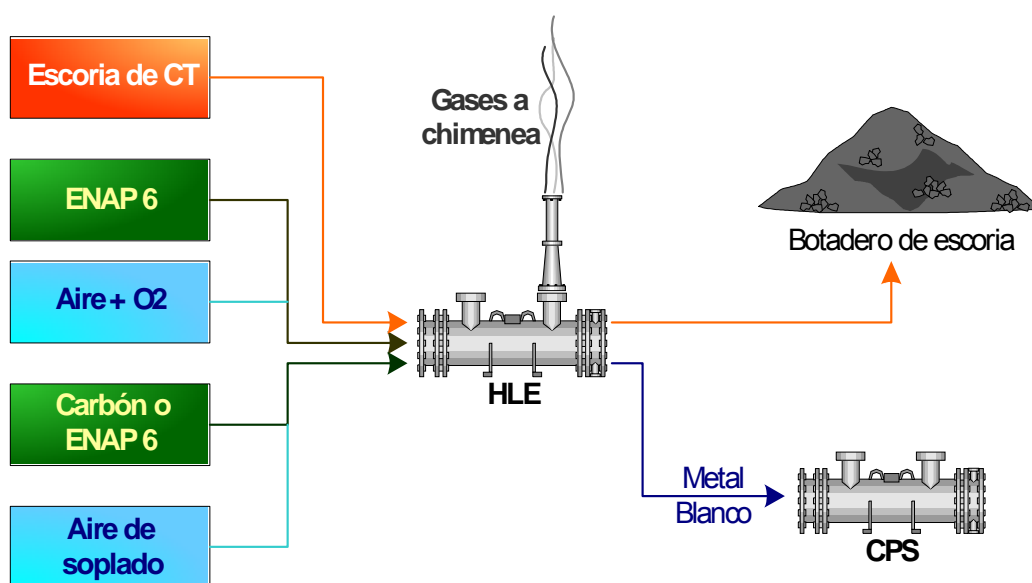


Figura N° 1.1 Diagrama del Horno de Limpieza de Escorias (Elaboración Propia, basada en Procedimientos Internos HLE - Fundición Caletones, 2005).

El ciclo cuenta con las siguientes etapas:

1. Carga Total de Escorias a los HLE.

Los Hornos de Limpieza de Escorias deben ser cargados continuamente con escorias provenientes de los Convertidores Teniente. La cantidad de carga dependerá del contenido de cobre que posea la escoria. La carga total de escorias consta de las siguientes etapas: *carguío*, *reducción* y *sedimentación*.

El tiempo necesario para que se formen distintas fases depende del tamaño y densidad de las gotas, así como de la viscosidad, densidad y tensión superficial de la escoria; en la práctica el cambio de fases tiene una duración de entre 25 a 30 minutos aproximadamente.

2. Escoriado

Una vez terminada la sedimentación se procede a vaciar la escoria de descarte del HLE a las tazas respectivas. Para transportar la escoria de descarte con destino a botadero se dispone de camiones porta ollas. La Figura N° 1.2 muestra la fotografía de los respectivos camiones. En el interior del horno permanece el metal blanco recuperado y un remanente en fase emulsionada con el metal.

3. Sangrado de Metal Blanco

Después de la etapa de sedimentación, se traspasa el metal blanco de baja ley con rangos de 65 – 70% Cu, a través de un conducto ubicado en la parte inferior del horno. El metal se vierte directamente a una taza que será transportada mediante el puente grúa hasta los CPS.



Figura N° 1.2 Camión para Transporte de Escorias (Codelco, 2005).

4. Vaciado Total Horno

El proceso no debe permitir la acumulación de la fase emulsionada (alta en cobre) ni tampoco que se eleve la ley del metal blanco contenido en ésta, del mismo modo permite el control de la altura de las fases y la altura total del líquido. El vaciado del horno se efectúa cada 9 cargas (16 tazas de escoria

Convertidor Teniente) o después de 3 sangrados de metal blanco. En la Figura N° 1.3 se observa la acumulación paulatina de emulsión desde un Ciclo HLE a otro.

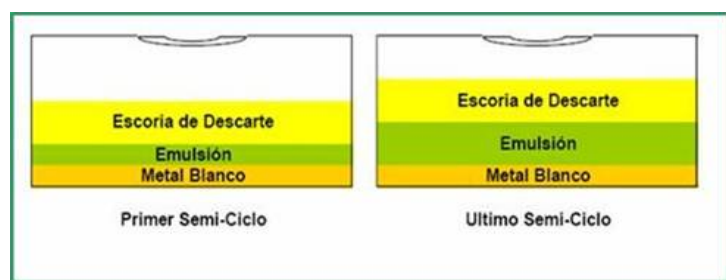


Figura N° 1.3 Fases del Proceso de Vaciado del Horno (Codelco, 2005).

La Tabla N° 1.2 muestra un resumen del Ciclo Operacional de los Hornos de Limpieza de Escoria; se ejemplifica la cantidad de escoriados, que en total son nueve por cada ciclo, el número de sangrados que corresponde a un total de tres y el vaciado del horno, que se realiza una vez por cada ciclo.

Tabla N° 1.2 Ciclo Operacional de los Hornos de Limpieza de Escorias.

Carga N° Tazas	Tiempo Reducción (min)	Tiempo Sedimentación (min)	Escoriado (N° Tazas)	Sangrado (N° Tazas)	Vaciado Horno (N° Tazas)
3	60 – 45	30 – 25	1	-	-
2	40 – 30	30 – 25	1	-	-
1	20 – 15	30 – 25	1	1	-
2	40 – 30	30 – 25	1	-	-
2	40 – 30	30 – 25	1	-	-
1	20 – 15	30 – 25	1	1	-
2	40 – 30	30 – 25	1	-	-
2	40 – 30	30 – 25	1	-	-
1	20 – 15	30 – 25	1	1	1

Fuente: CIMM, 2004.

En la Tabla N° 1.3 se aprecia un resumen de cantidades de Cobre Recuperado del año 2003 a modo de ejemplo. Para aspectos económicos, se debe analizar la recuperación en función de cobre contenido en la escoria de

descarte HLE. Se puede definir el porcentaje de recuperación de acuerdo a la siguiente fórmula (Ecuación 1.1):

$\text{Recuperación (\%)} = \frac{(\text{cobre escoria CT} - \text{cobre escoria HLE})}{\text{cobre escoria CT}} * 100$	1.1
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Tabla N° 1.3 Recuperación de Cobre en el año 2003 (Resumen).

Cu Escoria CT		Cu Escoria HLE		Cu Total Recuperado	
ton	%	ton	%	ton	%
368	11,05	1.840	1,38	343	93,1
266	7,95	1.785	1,28	243	91,4
355	10,3	1.945	0,77	340	95,8
334	9,08	2.055	0,82	317	95
251	8,2	1.667	0,72	238	95
537	16,3	1.844	0,75	523	97,4
355	9,95	1.987	1,43	326	92
346	9,4	2.043	0,77	330	95
493	13,25	2.014	0,74	478	97
346	9,3	2.080	0,75	330	95,5

Fuente: CIMM, 2003.

1.3.4 PLANTA DE GRANALLADO DE ESCORIAS

La escoria caliente es transportada y vertida en un canal de traspaso. En el extremo final se inyecta aire y agua, formándose pequeños granos de escoria caliente, los que caen en una piscina y son enfriados. Luego la escoria granallada es extraída y separada según tamaño. En la Tabla N° 1.4 se muestra un Análisis Químico de la Escoria Granallada.

Tabla N° 1.4 Análisis de la Escoria Granallada.

Elemento Químico	Cantidad	
As	230	ppm
Cu (Total)	1,01	%
Fe	48,7	%
Fe ⁺²	37,7	%
Fe ₃ O ₄	9,3	%
SO ₄	0,02	%
Si	13,8	%
SiO ₂	295	%

Fuente: CIMM, 2004.

1.3.5 PLANTA DE LIMPIEZA DE GASES

La Fundición de Caletones genera gases metalúrgicos del proceso de fusión-conversión de los concentrados sulfurados de cobre. Los residuos están compuestos principalmente por SO₂, N₂, O₂, Arsénico, polvos de proceso, vapor de agua y diversos humos metálicos. El tratamiento de estos gases es esencial, pues su liberación directa a la atmósfera es perjudicial tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

Para el manejo de estos gases, la fundición cuenta con dos Plantas de Limpieza de Gases con capacidades de 150.000 (Nm³ /h) y 280.000 (Nm³ /h), producto de las cuales el azufre de los concentrados de cobre es fijado como *ácido sulfúrico*, el que se reutiliza internamente o es vendido a terceros.

En la Tabla N° 1.5 se presenta las especificaciones químicas del ácido sulfúrico producido en las Plantas de Limpieza de Gases y en la Tabla N° 1.6 se observa la Caracterización Química de los Efluentes generados por la Planta de Limpieza de Gases N° 1 y Planta de Limpieza de Gases N° 2. En la etapa siguiente, los efluentes circularán a la Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE) para su completa estabilización.

Tabla N° 1.5 Composición Química del Ácido Sulfúrico Producido

Parámetro	PLG N°1		PLG N°2	
Calidad ácido	98,5	%	98,5	%
SO ₂	50	ppm	50	ppm
NO ₃ ⁻	10	ppm	10	ppm
Fe	50	ppm	50	ppm
Hg	1	ppm	1	ppm
Pb	1	ppm	1	ppm
Ni	0,5	ppm	0,5	ppm
As	1	ppm	1	ppm
Mn	sin datos		0,25	ppm
Cl	sin datos		10	ppm
Transparencia	sin datos		90	%
Turbiedad	100	APHA	25	APHA
Color	100	APHA	30	APHA
Temperatura	35	°C	35	°C

Fuente: IMM, 2005.

Tabla N° 1.6 Análisis Químico del Efluente Producido en PLG.

Elemento Químico	Cantidad	
As	13.454,2	ppm
Al	70,3	ppm
Cl	309,8	ppm
Cd	25,9	ppm
Cu	3.662,5	ppm
Zn	598,2	ppm
Ca	1864,8	ppm
Mg	27,8	ppm
Mo	186,6	ppm
Hg	8,8	ppm
F	456,3	ppm
Fe	485,4	ppm
Pb	1.983,8	ppm
K	345,3	ppm
Na	215,3	ppm
Sb	93,7	ppm
Bi	110,8	ppm
SO ₄	72.515,8	ppm
SO ₂	411,3	ppm
Sólidos disueltos	5242,2	g/l
H ₂ SO ₄	64,5	g/l
Temperatura	19,0	°C

Fuente: IMM, 2005.

Las Etapas del Proceso de Limpieza de Gases son las siguientes:

a) Acondicionamiento de Gases

El procedimiento de manejo de gases surge producto del Plan de Descontaminación de Caletones (D.S. N° 175); debe captar, enfriar, limpiar y acondicionar los gases del proceso de fusión-conversión que ocurre en los Convertidores Teniente y Pierce-Smith, para luego fijar el SO₂ como ácido sulfúrico en las Plantas de Limpieza de Gases y el Material Particulado como residuo sólido estable (CIMM, 2005).

b) Secado

El gas, sin polvo, enfriado y con algo de humedad, es conducido a la torre de secado por el soplador principal de gas, en esta torre el gas humedecido que contiene SO₂ entra en intenso contacto en contracorriente con H₂SO₄ al 96%. Durante esta etapa, se requiere que la humedad del gas sea absorbida por el H₂SO₄ para que no ocurra daño en la sección de contacto, debido al condensado ácido que se forma principalmente con el agua (neblina ácida).

c) Contacto de Gases

El gas con SO_2 ya secado es succionado por el soplador principal de gas. La conversión de SO_2 en SO_3 ocurre en un reactor catalítico de 4 capas, en presencia del catalizador (pentóxido de vanadio, V_2O_5) a temperaturas de contacto superiores a 400°C (CIMM, 2005). Finalmente, el gas es enfriado por el lado de los tubos en el intercambiador (gas-aire) alcanzando aproximadamente $190 - 200^\circ\text{C}$ a la entrada de la torre de absorción, donde el SO_3 es absorbido produciéndose el ácido sulfúrico (H_2SO_4).

d) Absorción de Gases

En la torre de absorción, el SO_3 es absorbido por ácido sulfúrico de 98,5%. El gas que sale de la torre, pasa a través de eliminadores de vapor para evitar que el goteo ácido (vapor ácido) sea arrastrado por el gas y expulsado a la atmósfera. En la Figura N° 1.4 se aprecia el Diagrama del Proceso de Limpieza de Gases de la Fundición Caletones.

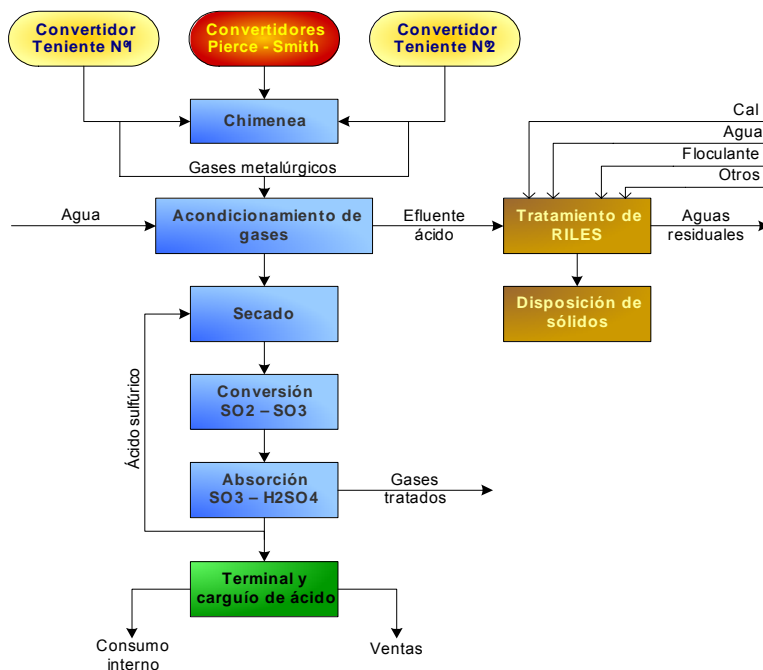


Figura N° 1.4 Diagrama del Proceso de Limpieza de Gases (Elaboración Propia, basada en Procedimientos Internos de PLG- Fundición Caletones, 2005).

1.3.6 PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

La Fundición Caletones, posee dos Plantas para el Tratamiento de Efluentes. Ambas utilizan el mismo concepto fisicoquímico, la única diferencia entre una y otra, está en los equipos utilizados y algunos reactivos químicos empleados. El propósito principal de estas plantas es recibir los efluentes de desecho para tratarlos y obtener residuos sólidos y líquidos seguros desde el punto de vista del manejo y que cumplan con los reglamentos medioambientales establecidos.

La Planta de Tratamiento de Efluentes cuenta con los siguientes procesos:

1. Tratamiento de Efluentes

El efluente es un ácido diluido, el cual fluye al estanque de reacción donde se mezcla con la lechada de cal agregada automáticamente y controlada por el medidor de pH, el que debe indicar un valor de 4. El efluente tratado, rebalsa hacia el estanque de ajuste donde se agrega más lechada de cal en forma manual, hasta alcanzar un pH de 11,3 – 11,5. Posteriormente, el ácido diluido pretratado rebalsa hacia el estanque de envejecimiento donde aumenta su tiempo de residencia y favorece la precipitación de arsénico y precipitados sólidos insolubles como los hidróxidos de metales (Cu, Fe, Bi, etc.), Arsenito/Arseniato de Cal, Sulfato, Sulfito y Fluoruros.

Estos sólidos flocculan mediante un polímero (polielectrolito) y las partículas sólidas finamente dispersadas forman aglomerados con suficiente velocidad de asentamiento para que se separen por sedimentación. El agua clarificada se mezcla con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y Sulfato Férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) simultáneamente, para formar la precipitación y coagulación del arsenito/arseniato y de los sólidos suspendidos que no decantaron previamente. El pH obtenido oscila entre 8 – 8,5.

2. Deshidratación y Calcinación de Sedimentos

El sedimento acumulado en el estanque es bombeado hacia el filtro prensa, separando el líquido de los sólidos, el queque húmedo (40% humedad) es transportado a la sección de secado y calcinación de sólidos, donde ingresa al secador rotatorio. Las temperaturas de operación fluctúan entre los 620°C a 650°C; a medida que recorre el secador va perdiendo humedad alcanzando a la salida una temperatura de 145°C, luego el material es alimentado al calcinador, el cual opera en una atmósfera oxidante, con el fin de asegurar la oxidación del arsenito a arseniato, todo ésto a temperaturas que fluctúan entre los 700°C a 850°C. El agua filtrada se deposita en el estanque de drenaje y posteriormente es recirculada. El polvo y materiales secos son transportados por un sistema de rastras al silo de almacenaje para su disposición final.

3. Alimentación Química

La lechada de cal es utilizada a una concentración del 10% al 16% (en peso) de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y con porcentajes de sólido del 10% al 15%. La alimentación de lechada de cal dependerá de las necesidades que tenga la operación (cantidad de efluente a tratar y condiciones de pH). La dosificación a estanques de precipitación y precipitación de arsénico es regulada mediante válvulas. Para el caso del estanque de lodos, ésta se realiza en forma automática dependiendo de la razón Ca/As deseada, lo que permite obtener un producto estable en el calcinador.

La adición de floculante se realiza en forma manual a la tolva de alimentación que se encuentra sobre el mezclador. Este es un sistema automático que prepara soluciones en una concentración aproximada de 0,1% en peso; de allí es bombeado al estanque de floculante.

El ácido sulfúrico se adiciona mediante bombas dosificadoras al estanque de precipitación de arsénico y al estanque de efluente neutralizado

con el fin de mantener el pH de la solución. La concentración de H_2SO_4 utilizada es del 96%.

La solución de Sulfato Férrico al 38% en peso es suministrada en forma intermitente al estanque por un camión; la adición se hace en forma dosificada y proporcional a la cantidad de efluente ácido tratado.

De acuerdo al autor Anderson *et al.* (2000) se ha establecido Guías de Emisión de Efluentes que debieran ser alcanzadas para efluentes de fundiciones de cobre y sirven como base para obtener fundamentos internacionales, señala además que los parámetros establecidos aún son muy permisibles (Ver Tabla N° 1.7), pues el arsénico posee clasificación de crónico, agudamente tóxico para animales y humanos, así como también es un conocido carcinógeno.

En Fundición Caletones, la estabilidad de los efluentes se verifica a través de Análisis Químico de diversas muestras, para controlar el cumplimiento de la Normativa Ambiental y su posterior disposición en el vertedero autorizado ubicado en el Cerro Minero. Los residuos líquidos que salen deben contener menos de 1 (mg/l) de arsénico, un máximo de 50 (ppm) de SO_2 y menos de 50 (ppm) de H_2SO_4 . Los residuos sólidos no deben superar los 5 ppm de arsénico en función del Test EPA TCLP 1311.

Para ejemplificar este proceso, la Figura N° 1.5 muestra el Diagrama de la Planta de Tratamiento de Efluentes N° 2.

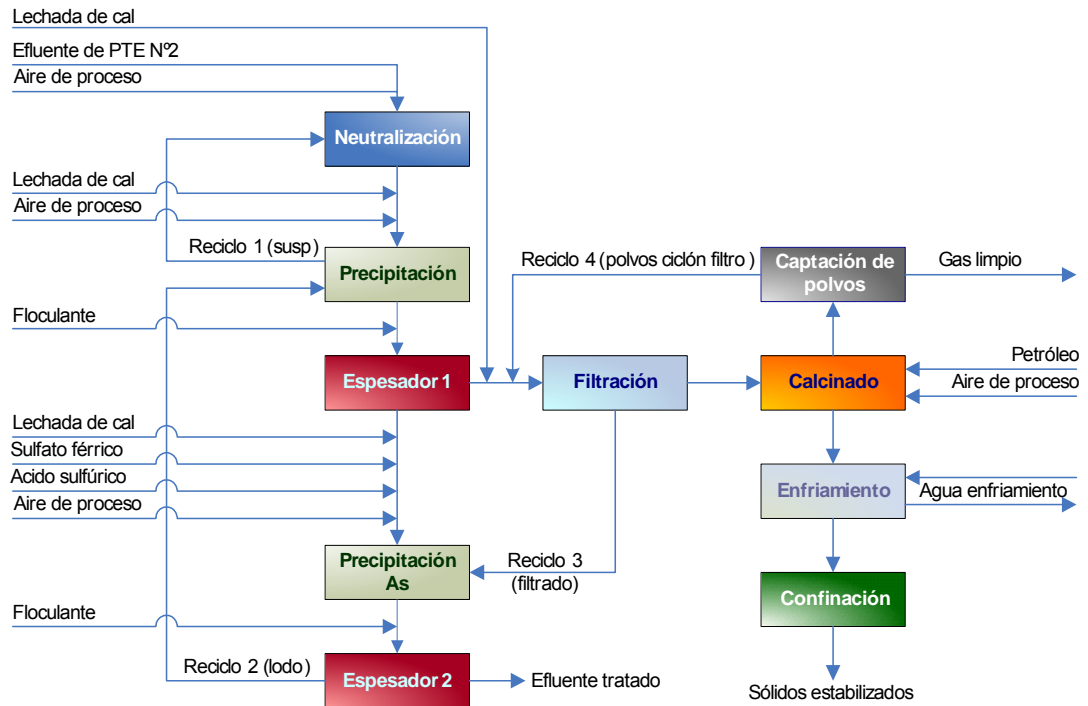


Figura N° 1.5 Diagrama del Proceso en Planta Tratamiento de Efluentes (Elaboración Propia, basada en Procedimientos Internos PTE – Fundición Caletones, 2005).

Tabla N° 1.7 Efluentes de Fundiciones de Cobre a nivel mundial.

Parámetro	Máximo Valor
pH	6 – 9
As	0,1 mg/l
Cd	0,1 mg/l
Cu	0,5 mg/l
Fe	3,5 mg/l
Pb	0,1 mg/l
Hg (Total)	0,01 mg/l
Zn	1 mg/l
Metales Totales	10 mg/l
Sólidos Suspendidos	50 mg/l

Fuente: Banco Mundial, 2000.

1.4 IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA DEL COBRE

Los impactos ambientales generados por la actividad minera están determinados por el tipo y naturaleza del mineral primario y los demás minerales contenidos, por el proceso utilizado para su beneficio, tecnología, localización y tamaño. Las causas que derivan los impactos potenciales sobre los componentes del medio ambiente, se producen principalmente como resultado de:

1. Ocupación y modificación de terrenos por actividades netamente mineras o asociadas a ellas.
2. Emisión de polvos y material particulado por minas, chancado, molienda, tráfico de camiones, manejo de mineral y estériles (sistema de traspaso, acopios, etc.), aridez natural, tranques de relaves abandonados y partículas fugitivas de los procesos.
3. Emisión de gases por chimeneas colectoras de gases, gases de combustión de vehículos y procesos.
4. Disposición de residuos sólidos de estériles, ripios, escoria, lodos de la planta de tratamiento de riles y de plantas de ácidos u otras, polvos de fundición y otros de distinta de distinta naturaleza.
5. Efluentes líquidos, como descarte de aguas industriales, derrames accidentales, lixiviaciones naturales, drenajes de tranques de relaves y por descarte de purgas.
6. Ruidos, vibraciones y radiaciones; principalmente por tronaduras, tamaño de equipos utilizados y sustancias radiactivas.

7. Emigración de la población externa al lugar, lo que puede influir en las costumbres de las comunidades locales.

Los impactos originados por las causas anteriormente listadas son las siguientes:

- Contaminación del aire por gases, principalmente anhídrido sulfuroso y partículas respirables, conteniendo metales pesados.
- Contaminación de suelos por depositación de material particulado conteniendo metales disueltos, que modifican el pH del suelo y sales de efluentes líquidos.
- Contaminación de aguas superficiales, marinas y subterráneas por infiltraciones o descargas de efluentes líquidos, conteniendo sólidos en suspensión, metales disueltos, pH ácido o muy básico y sales. También, la contaminación puede ser por material particulado sedimentable conteniendo metales pesados o por gases de SO₂ que pudieran producir lluvias ácidas.
- Contaminación y destrucción de recursos naturales renovables que absorben contaminantes desde el aire, aguas y suelos, destruyendo además sus posibilidades comerciales.
- Destrucción de paisajes, suelos y áreas silvestres por faenas mineras a Tajo abierto.
- Erosión de suelos por excavaciones realizadas que expongan capas de suelo fácilmente erosionables.

- Riesgos y contaminación ambiental derivados de faenas y tranques de relaves abandonados.
- Eliminación de flora y fauna en el área ocupada por minas, botaderos, procesos, etc.
- Los residuos sólidos de la minería pueden causar contaminación de aire, agua y suelo, si no se cuenta con una adecuada disposición.
- Problemas de salud en la población laboral o comunidades cercanas.
- Contaminación de flora y fauna (continental o marítima), como resultados de las emisiones de los diversos contaminantes emitidos por la industria minera-metalúrgica.

1.5 FUNDAMENTACIÓN DEL SULFATO FÉRRICO

El concentrado utilizado en la producción pirometalúrgica de cobre contiene metales pesados como Arsénico, Plomo, Mercurio y Cadmio. Durante los procesos de fusión y conversión, parte de estos metales son removidos parcialmente en las escorias y el resto es enviado a la Plantas de Limpieza de Gases, para su posterior tratamiento mediante la adición de algún compuesto químico capaz de precipitar sustancias menos complejas y de esta manera minorizar la concentración de dichos metales pesados (Daza, 2003).

Uno de los compuestos utilizado es el Sulfato Férrico, el que puede ser obtenido por oxidación química del ión ferroso o por biooxidación utilizando bacterias ferroxidantes. La oxidación del Fe^{+2} (ión ferroso), presente en soluciones lixiviantes mediante la acción de bacterias, es una reacción importante para las operaciones hidrometalúrgicas de lixiviación de minerales

sulfurados, tratamiento de drenajes ácidos de mina y efluentes de procesos industriales utilizados para purificar gases o soluciones con arsénico y metales disueltos (Casas de Prada *et al.*, 2000).

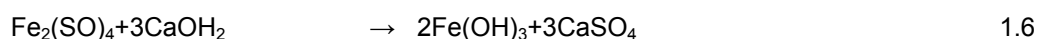
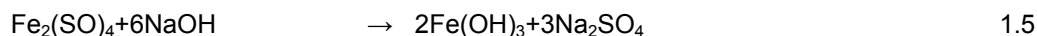
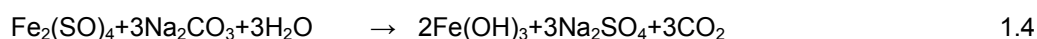
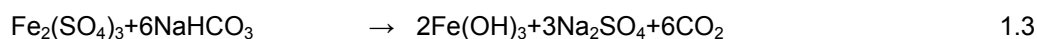
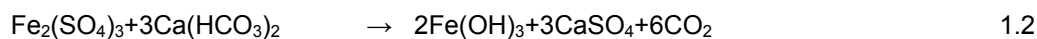
Numerosos estudios acerca de la oxidación de soluciones de sulfato ferroso utilizando microorganismos acidofílicos tanto en laboratorio como a escala piloto, han demostrado que su obtención mediante bacterias es bastante exitosa. Se ha investigado distintos tipos de bacterias, temperaturas, tasas de aireación, agitación, inmovilización celular; configuración y forma de operación del reactor (Mazuelos *et al.*, 2001).

También se ha formulado diversos modelos para cuantificar la cinética de este proceso tomando en cuenta los efectos de la temperatura, la aireación y la concentración de hierro. Sin embargo, existen pocos estudios que describan y cuantifiquen la precipitación del hierro que se produce durante el proceso de biooxidación, así como tampoco se ha podido evaluar y controlar en forma precisa el pH debido al consumo y generación simultánea de protones a partir del gran número de reacciones que ocurren en la solución (Meruane, 2002).

1.5.1 SULFATO FÉRRICO

Es una sal de metal trivalente, color blanco amarillento, bastante soluble en agua, comercializada en forma de gránulos secos (generalmente heptahidratados). Su fórmula química es $[\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3]$, presenta un pH entre 0,7 - 1,8, densidad entre 1,56 - 1,62 (g/cm^3), basicidad entre 10 - 22% y un punto de congelamiento menor a -25°C . En solución acuosa el Sulfato Férrico se hidroliza formando ácido sulfúrico, por lo que debe prevenirse los efectos de acidez. La solución comercial se presenta al 49 - 50% en volumen, es una solución que tiende a hidrolizarse y a depositar hidróxido férrico (Daza, 2003).

Las siguientes ecuaciones muestran la reacción del Sulfato Férrico con situaciones de alcalinidad:



En general, los coagulantes férricos son útiles a un pH de 4,0 a 11,0. El Sulfato Férrico es particularmente exitoso para remover olor a valores bajos y altos de pH, puede usarse para remover iones de hierro, manganeso, sulfuros y fosfatos, además de eliminar sólidos suspendidos, coloides del agua y absorber la DBO soluble sobre los flóculos.

1.5.2 OBTENCIÓN DEL SULFATO FÉRRICO

El Sulfato Férrico se puede producir de dos formas: por *oxidación química del ión ferroso* o por *biooxidación utilizando bacterias ferroxidantes*. Para la oxidación química del ión ferroso se debe trabajar a altas temperaturas con corrientes gaseosas de oxígeno, lo que aumenta el valor comercial de esta sal debido a los grandes requerimientos energéticos.

Se utiliza principalmente en el tratamiento de aguas residuales, tanto de origen industrial como urbano, compitiendo con otros productos que cumplen con los requerimientos para la precipitación química (sulfato de aluminio o alúmina y cloruro férrico), pero que presentan la desventaja de ser tóxicos para producción de lodos y altamente higroscópicos. No obstante, estos últimos

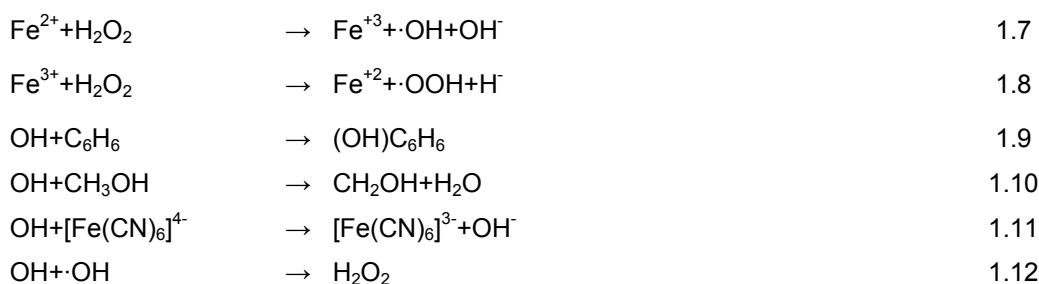
son preferidos por empresas industriales, pues cumplen su función de precipitar y son bastante económicos, por tanto, su elección es alta.

1.5.2.1 OXIDACIÓN QUÍMICA DEL IÓN FERROSO

La velocidad de reacción de iones ferrosos a iones férricos depende de la naturaleza y concentración del electrolito soporte. Existen variadas gamas, se sugiere que la velocidad de reacción es más rápida en HClO_4 que en H_2SO_4 y H_2O_2 ; además, que es más lenta con el incremento de la concentración de ión sulfato y pH (Glasner, 2003).

En cuanto a agentes oxidantes, el peróxido de hidrógeno es bastante utilizado por su alcance, versatilidad, eficacia y seguridad. Al utilizarse con soluciones de hierro (catalizador), éste le confiere una poderosa energía catalítica capaz de generar radicales altamente reactivos del oxhidrilo (OH), iones ferrosos y iones férricos.

Mediante adición de hierro y peróxido de hidrógeno, la reacción generará radicales del oxhidrilo (Ver Ecuaciones 1.7 y 1.8), éstos reaccionarán con los agentes contaminantes para oxidarlos, los radicales pueden reaccionar de acuerdo a: adición, abstracción del hidrógeno, transferencia del electrón e interacción del radical (Ver Ecuaciones 1.9, 1.10, 1.11 y 1.12 respectivamente).



1.5.2.2 BIOXIDACIÓN UTILIZANDO BACTERIAS FERROOXIDANTES

En la naturaleza siempre ha existido el fenómeno de la lixiviación bacteriana de ciertos minerales, pero no fue sino hasta 1947, que Colmer y Hinkle, aislaron y describieron el principal y más estudiado microorganismo responsable de esta acción, la bacteria Gram Negativa del tipo *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Esta bacteria puede oxidar directamente el sulfuro a sulfato o a través del mineral sulfurado que es oxidado por ión férrico y azufre elemental, generándose el ión ferroso que será oxidado por esta bacteria (Acevedo, 2002).

La oxidación aeróbica del hierro, desde el estado ferroso Fe^{+2} al férrico Fe^{+3} , es una reacción que suministra energía a estas bacterias. Esta oxidación sólo produce una pequeña cantidad de energía disponible y por esta razón las “bacterias del hierro”, tipo ferrooxidans, deben consumir grandes cantidades de este elemento para crecer. El ión ferroso se asocia a la membrana de la bacteria y participa como primer eslabón de la cadena de transporte de electrones; participan en la cadena citocromos (tipo c y a_1) y proteínas como rusticianina que actúa como primer aceptor de electrones.

Los electrones derivados de la oxidación de Fe^{+2} no pueden reducir NAD^+ , FAD ni otros componentes de la cadena de transporte de electrones. De acuerdo a Mazuelos *et al.* (2002), se piensa que estas bacterias aprovechan los gradientes de protones preexistentes en el medio con objeto de generar energía suficiente para proseguir el proceso.

En la Figura N° 1.6 se ejemplifica esta acción en el esquema propuesto por Gabriel Meruane en su Tesis Doctoral acerca de la Oxidación Bacteriana del Sulfato Ferroso, en el año 2002. Se observa que la oxidación de dos átomos de Fe^{+2} por la bacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans*, se traduce en la síntesis de 1 ATP.

El citoplasma debe de estar próximo a la neutralidad en cuanto a pH. En *A. ferrooxidans*, el pH interno está cercano a 6 y el pH del medio más bajo, cercano a 2, esta diferencia de pH a través de la membrana citoplásmica representa un gradiente electroquímico o fuerza motriz de protones natural que puede jugar un papel en la síntesis de ATP.

Para mantener un pH intracelular neutro, los protones que entran en la célula mediante la ATPasa transportadora de protones, deben ser consumidos de algún modo, es precisamente donde la oxidación del Fe^{+2} desempeña un rol fundamental.

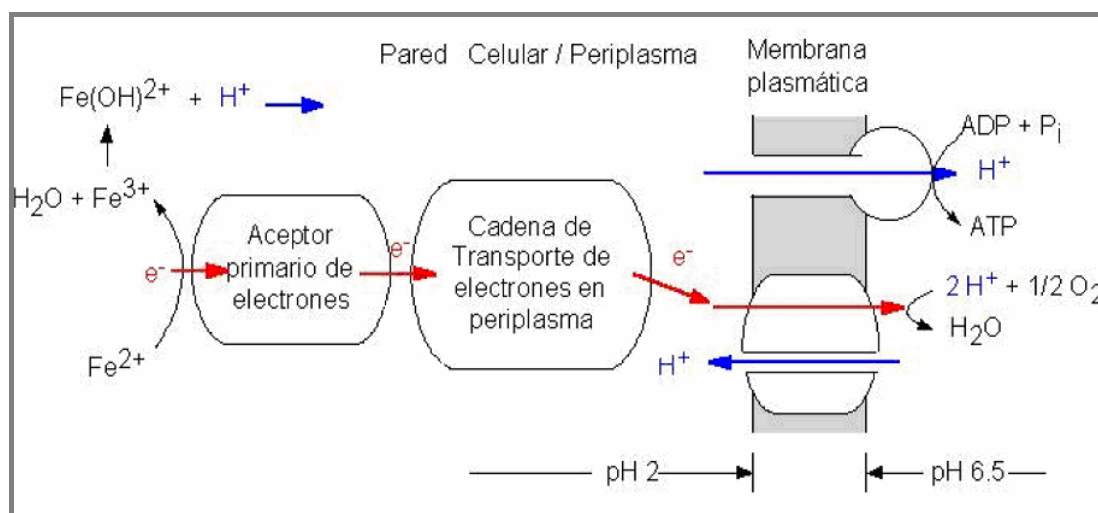


Figura N° 1.6 Esquema Propuesto para la Cadena de Transporte de Electrones en *A. ferrooxidans* (Meruane, 2002).

Los electrones derivados de la oxidación de Fe^{+2} no pueden reducir NAD^+ , FAD ni otros componentes de la cadena de transporte de electrones. La oxidación de Fe^{+2} a Fe^{+3} es una reacción consumidora de protones, pues los electrones del Fe^{+2} son aceptados en el espacio periplásmico por la rusticianina (estable en condiciones ácidas, pH óptimo 2) y localizados en el periplasma.

Los electrones pasan de la rusticianina a un citocromo c de membrana (con potencial de membrana anormalmente alto) que a continuación transfiere los electrones al citocromo a_1 , u oxidasa terminal.

El citocromo a_1 cede electrones a $\frac{1}{2} O_2$ tomando del citoplasma los dos protones que se necesita para formar agua. Una nueva entrada de protones por medio de la ATPasa renueva el suministro de protones y mientras se encuentre Fe^{+2} disponible, la fuerza motriz de protones natural a través de la membrana de estas bacterias, puede continuar dirigiendo la síntesis de ATP.

La fijación autotrófica de CO_2 requiere la presencia tanto de ATP como de poder reductor. El poder reductor, en forma de NADH o NADPH, se forma por el proceso de transporte inverso de electrones, usando la energía del potencial de membrana para invertir el flujo de electrones y formar NADH o NADPH.

Debido al alto potencial de Fe^{+3}/Fe^{+2} , este proceso consume mucha energía y resulta comprensible que los rendimientos de estas bacterias del hierro en términos de masa sean muy bajos. Su presencia se detecta por la formación de precipitados de ión férrico, una de sus principales funciones a nivel de industria cuprífera (Zhong-er *et al.*, 2004).

1.5.3 APLICACIONES DEL SULFATO FÉRRICO

Dentro de los usos del Sulfato Férrico, se encuentra la Industria de Tratamientos de Aguas Residuales, quien lo utiliza como *coagulante de sólidos suspendidos*, en sistemas de sedimentación primaria y secundaria. Este producto otorga mayor velocidad de sedimentación pues logra ampliar el diámetro de las partículas; se requiere en dosis de entre 10 a 150 (g/m^3) dependiendo de la calidad de la corriente a tratar (Metcalf, 1999).

Es capaz de bajar el “potencial z” disminuyendo el espesor de la capa difusa en la interfase sólido-líquido, forma complejos energéticos con aniones simples y pequeños polímeros que le otorgan características de floculante. Consigue bajar el pH, por lo que es utilizado con NaOH (Hidróxido de Sodio) y Cal, que en conjunto optimizan la regulación del pH, con efectos sobre la solubilidad de alrededor de $10^{-11,5}$ M en pH 6,8-8,4.

Es empleado además, en el Retiro de Metales Pesados de Lodos de Aguas Residuales Anaerobias. Según el autor Ayumi *et al.* (2000), la adición del Sulfato Férrico al lodo logró su acidificación y contribuyó a lavar los metales pesados, disminuyendo el pH y la concentración de éstos. En una muestra de lodo al 2% (peso/peso) el pH del lodo bajó a 3 y el porcentaje lavado de cadmio, cobre, zinc fue superior al 80% cuando se añadió una cantidad de 1,5 (g/l) por lodo húmedo.

En la misma investigación, se comparó el uso del ácido sulfúrico como reactivo de la oxidación en el lavado de metales pesados. Se estableció que el Sulfato Férrico extrajo eficientemente el cadmio, cobre y el zinc, aminorando su concentración, ya que fue capaz de oxidar los metales pesados presentes en el lodo en un menor tiempo. Finalmente, se concluyó que el Sulfato Férrico desempeñó un rol fundamental en cuanto a acidificación del lodo y oxidación de compuestos metálicos, especialmente en aquellas aguas residuales que presentan altos contenidos de lodos anaeróbicos.

Otra aplicación importante, es en las Industrias Cupríferas, pues se requiere con el fin de precipitar grandes cantidades de arsénico como arsenato férrico. De acuerdo a Donnelly *et al.* (2000), la remoción de arsénicos de efluentes de procesos mineros y metalúrgicos, se lleva a cabo adicionando iones férricos para producir arsenato férrico “relativamente estable” si se habla en términos de disposición.

Según su investigación, los iones férricos encontrados en efluentes de plantas de ácido de fundiciones de cobre figuran como un potente oxidante capaz de transformar arsénico (III) a arsénico (IV), sin embargo al analizar detalladamente el efluente de numerosas plantas de ácidos cupríferas (extranjeras), se encontraron ambos estados de oxidación, considerando que sólo debiese estar presente arsénico (III), se determinó además, que entre un 78 - 88% de arsénicos presentaban el estado de oxidación (III), mientras que de 12 - 22% el estado de oxidación fue de (V).

Stefanakis (1998) propone la utilización de desechos de fierro (escorias de descarte en fundiciones) que pueden ser lixiviados a 90°C y por un período de 2 horas, con requerimientos estequiométricos de ácido sulfúrico se puede producir una solución de 120 (g/l) de Fe^{+2} . Destaca además, que la oxidación de Fe^{+2} a Fe^{+3} es un tanto inefectiva por burbujeo de oxígeno a través de soluciones, obteniéndose experimentalmente un 70% como grado máximo de oxidación después de 1 hora de prueba a 90°C.

Para el caso experimental, agregando H_2O_2 resultó una oxidación cuantitativa de 90% a una temperatura de 90°C luego de 3 horas de prueba. Finalmente, se adicionó $Fe_2(SO_4)_3$ y $CuSO_4$, con un resultado, luego de 3 horas a 90°C, de un 93% de oxidación. Por tanto, la utilización de uno u otro compuesto dependerá de los requerimientos del proceso.

1.5.4 REGULACIONES ASOCIADAS AL SULFATO FÉRRICO

Como se dijo con anterioridad, el Sulfato Férrico, $Fe_2(SO_4)_3$, es una sal de metal trivalente, con pH entre 0,7 - 1,8 y en solución tiende a hidrolizarse y a depositar hidróxido férrico. Bajo condiciones normales de operación es bastante estable. El Sulfato Ferroso $Fe(SO_4)$ es un sólido verdoso e inodoro, también estable en condiciones normales, inestable al someterse a altas

temperaturas liberando gases de combustión o vapores peligrosos como sulfóxidos. Su temperatura de almacenamiento debe ser inferior a los 40°C, el pH fluctúa entre 3 - 4 y presenta una solubilidad en agua de 400 (g/l).

Las Regulaciones y Normas a nivel nacional para ambos productos, no están mencionadas, por tanto, no reglamentadas. De acuerdo a textos legales revisados, en los que existe concordancia en cuanto a temática, legislación y fiscalización, se comprueba que el compuesto no aparece en el listado oficial. A continuación los Textos Legislativos Nacionales (Tabla N° 1.8):

Tabla N° 1.8 Legislación Aplicable.

Norma	Año	Situación Norma	Descripción	Vigencia para el producto
D.S. N° 57	2003	Reemplaza D.S. N° 745/92, Modifica D.S. N° 594/99, Modifica D.S. N° 201/2001.	Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en lugares de Trabajo	No vigente actualmente
NCh N° 2353 Of 96	1996	Complementa el D.S. N° 298/95	Reglamento de Transporte por Carretera – Hoja de Datos de Seguridad	No vigente actualmente
NCh N° 382 Of 98 (Decreto N° 98)	1998	Anula y reemplaza la NCh N° 382 Of 89	Sobre Sustancias Peligrosas Terminología y Clasificación	No vigente actualmente
NCh N° 2190	2003	Anula y reemplaza la NCh N° 2190/93	Transporte de Sustancias Peligrosas – Distintivos para Identificación de Riesgos	No vigente actualmente
NCh N° 2120/8 Of 98	1998	Anula y reemplaza la NCh N° 2120/8 Of 89	Sobre Sustancias Peligrosas – Parte 8 – Sustancias Corrosivas	No vigente actualmente
NCh N° 2120/9 Of 98	1998	Anula y reemplaza la NCh N° 2120/9 Of 89	Sobre Sustancias Peligrosas – Parte 9 – Sustancias Peligrosas Varias	No vigente actualmente
NCh N° 2245 Of 2003	2003	Anula y reemplaza la NCh N° 2245 Of 1993	Sobre Sustancias Químicas – Hojas de Seguridad - Requisitos	No vigente actualmente

Fuente: Instituto Nacional de Normalización - Chile, 2005.

Respecto a estas situaciones, Environmental Protection Agency (EPA), define dos tipos de residuos peligrosos:

a) Los que se encuentran inscritos en una de las cuatro listas publicadas en el Código de Reglamentos Federales, USA (40 CFR parte 261) y;

b) Aquellos residuos característicos cuya peligrosidad implica que se inflaman bajo ciertas condiciones (residuos inflamables); corroen (residuos corrosivos) el metal o tienen pH extremo (muy alto o muy bajo); inestables; explotan o producen emanaciones tóxicas, gases o vapores cuando se mezclan con agua o bajo condiciones tales como el calentamiento o la presión (residuos reactivos) dañinos y letales cuando se ingieren o se absorben, o deja escapar productos químicos tóxicos al suelo o al agua subterránea cuando se bota en la tierra, denominados residuos tóxicos (Environmental Protection Agency, 2005).

A nivel internacional, las siguientes instituciones poseen incidencia:

1. FIFRA (Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act).
2. RCRA (Resource Conservation and Recovery Act).
3. CWA (Clean Water Act).
4. FDA (Food and Drug Administrations).
5. TSCA (Toxic Substances Control Act).
6. NFPA² (National Fire Protection Agency).
7. SARA² (Superfund Amendments and Reauthorization Act of the US EPA).
8. CERCLA RQ² (Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act.).
9. WHMIS (Workplace Hazardous Material Information System, Classification)

A falta de normativa nacional, la ley ambiental chilena, sugiere consultar en textos de organizaciones gubernamentales extranjeras que posean acreditación respecto al tema. En este caso, la EPA cuenta con un “Manual de Códigos de Residuos Peligrosos”, el que sirve para la identificación de los residuos y responsabilidades legislativas, aclarando previamente, que el texto

² Información recopilada de Material Safety Data Sheet, prepared by Eaglebrook Responsible Care ® Member American Chemistry Council (ACC), Julio 2004.

no debe ser usado como sustituto de los reglamentos en sí, más bien, sólo como apoyo y referencia³.

Además, recalca que muchos estados cuentan con sus propios reglamentos basados en los reglamentos federales sobre residuos peligrosos, señala que en algunos de éstos los requisitos son los mismos que los de las normas y definiciones federales, sin embargo otros estados han desarrollado requisitos más estrictos que los del programa federal, por lo que la consulta del manual dependerá del escenario legislativo del estado, nación o país.

En la eventualidad que el residuo analizado no aparezca en el listado de la EPA, pues se informa que no es una lista comprensiva de todos los códigos y flujos, ya que algunos compuestos pertenecen a categorías específicas, puede consultarse el Título 40 del Código de Reglamentos Federales o revisar la Hoja de Datos de Seguridad de Material (MSDS) que viene con todos los productos que contienen materiales peligrosos⁴ (40 CFR) parte 261.

Con la investigación precedente, se estableció que el producto Sulfato Férrico, pertenece a la Clase 8 (Sustancias Corrosivas) según GRENA, Guía Norteamericana de Respuesta en caso de Emergencia, desarrollada por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos y colaboración de Canadá Seguridad y Materiales Peligrosos del año 2003. Para el transporte del compuesto, su grupo de embalaje corresponde a III y N.U. 9121. La Etiqueta de Seguridad conforme a NFPA, asigna el valor 2 para la salud (peligroso), riesgo de inflamabilidad con valor 0 (estable), riesgo de reactividad con valor 0 (estable) y sin características especiales (Documentación recopilada de la empresa Redoxiwater[®] S.A., actual distribuidor del producto en Fundación Caletones).

³ Información de Reglamentos Federales sobre Residuos Peligrosos, disponible en <www.epa.gov/epacfr40>.

⁴ Consultas sobre Material Safety Data Sheet (MSDS), disponible en <www.msdsonline.com>.

Eaglebrook Inc., en informe elaborado (Material Safety Data Sheet) el año 2004, afirma que tanto el Sulfato Férrico como el sulfato ferroso pertenecen a la Clase E “Irritante a la piel y mucosas” de acuerdo a Hazardous Materials de WHMIS. Para transporte Clase 8 (9.2), N.U. 3264, CAS 0100-28-22-5 para Sulfato Férrico, CAS 7720-78-7 para sulfato ferroso respectivamente, con valores de etiquetas de seguridad según NFPA como sigue: salud 2 (peligroso), inflamabilidad 0 (estable), riesgo de reactividad 1 (inestable al calentar) y características especiales “corrosivo”.

Respectivamente, Superfund Amendments and Reauthorization Act of the US EPA (SARA) conforme al Title III, Hazardous Categories and Lists: Section 302 y Section 313, menciona que ambas son sustancias que presentan efectos agudos, pero no crónicos; fuera del rango “extremadamente peligroso”, no reactivas y químicamente no tóxicas. CERCLA RQ dictamina que los compuestos en los que esté presente el ácido sulfúrico, deben ser reportados, Section 313 of EPCRA (40CFR 372).

En la Figura N° 1.7, 1.8 y 1.9 se presenta un diagrama general que identifica los riesgos y peligros de estas sustancias, respectivas Etiquetas de Seguridad (Eaglebrook, 2004 y GRENA, 2003) e indicación del Número C.A.S y N.U si corresponde (Lide, 2002).

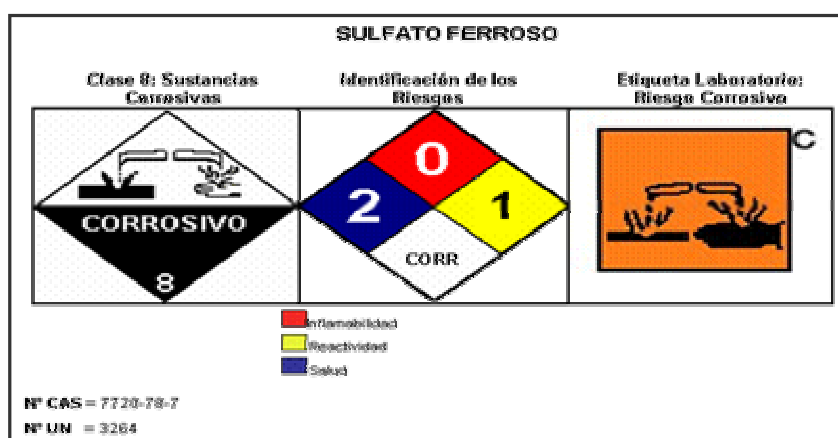


Figura N° 1.7 Etiquetas para el Sulfato Ferroso (Eaglebrook, 2004).

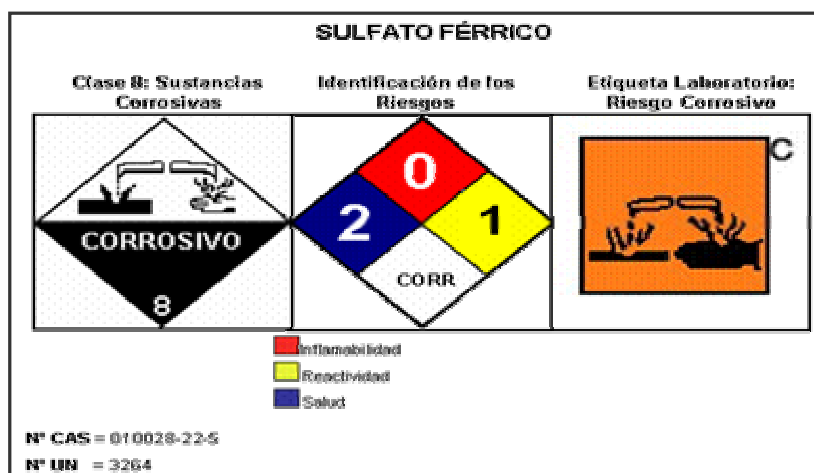


Figura N° 1.8 Etiqueta para el Sulfato Férrico (Eaglebrook, 2004).

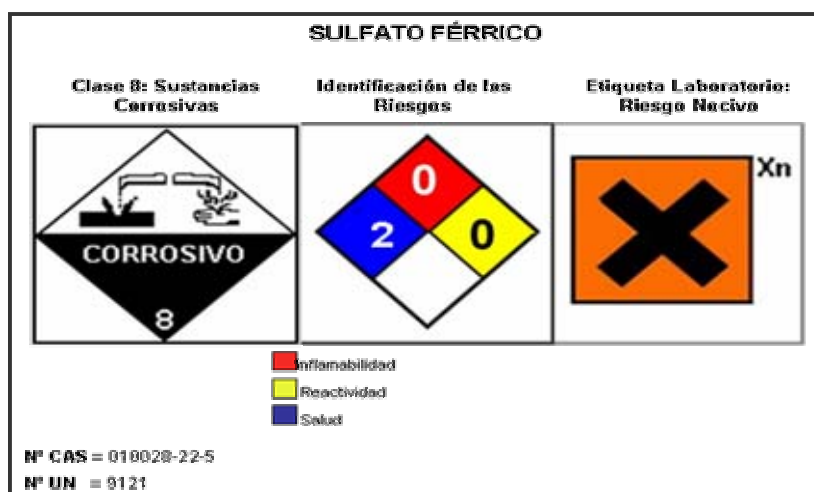


Figura N° 1.9 Etiqueta para Sulfato Férrico (GRENA, 2003).

1.5.5 EFECTOS DEL SULFATO FÉRRICO

En cuanto a información toxicológica y ecológica, no existen antecedentes al respecto, no obstante se recomienda utilizar antecedentes de compuestos con parámetros fisicoquímicos similares. Toxicidad en inhalación y contacto dérmico no se aplica, no representa riesgo de cáncer, no afecta la reproducción, tampoco es agente mutagénico.

Entre su incompatibilidades químicas destacan los compuestos alcalinos, carbonatos solubles, sales oro y plata, acetato de plomo, yoduro de potasio, tartrato de sodio y de potasio, borato de sodio y compuestos orgánicos en general. Los compuestos solubles de hierro son tóxicos para especies acuáticas cuando la concentración excede los 0,9 (mg/l) a un pH entre 6,5 - 7,5 y resulta *letal* desde 1 (mg/l) a un pH entre 5,5 - 6,7. En el caso específico del hierro, el *límite máximo* para la sobrevivencia de peces es de 50 (mg/l) de Fe, pues al producirse precipitados de iones Fe en un medio alcalino, los organismos acuáticos residentes resultan afectados considerablemente (Martin *et al.*, 2004).

Los principales peligros para la salud de las personas son la ingesta, contacto con la piel y ojos e inhalación. El incremento de hierro en el organismo puede causar daño al hígado; de acuerdo a investigaciones se piensa que es posible que provoque un aumento en la creatinina sérica, sobre todo en personas con anemia o propensos a desarrollar dicha enfermedad.

La ingestión de grandes cantidades provoca irritación gastrointestinal, alteraciones estomacales, dolor generalizado, vómitos, constipación o diarrea; la exposición repetida al polvo aumenta los niveles de hierro en el hígado, bazo y sistema linfático. La inhalación del polvo puede causar tos e irritación leve de las mucosas e inflamación en el globo ocular, letargos e incluso edema pulmonar, en aquellas personas con sensibilidad en la piel los síntomas se acrecientan (Martin *et al.*, 2004).

1.6 PROYECTO PLANTA GENERADORA DE SULFATO FÉRRICO

1.6.1 MARCO REFERENCIAL DEL PROYECTO

1.6.1.1 LIXIVIACIÓN ÁCIDA

El concepto lixiviación se entiende como el retiro de una fracción soluble en forma de solución a partir de una fase sólida permeable e insoluble con que se asocia. La separación implica, por lo común, la disolución selectiva de los componentes valiosos de las menas y su posterior recuperación de la solución por diferentes métodos, con difusión o sin ella; pero en el caso extremo del lavado simple, consiste sólo en el desplazamiento (con cierta combinación) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible.

El constituyente soluble puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien, mantenido mecánicamente en la estructura porosa del material insoluble. El sólido insoluble puede ser masivo y poroso, con mayor frecuencia está formado por partículas y éstas últimas, pueden ser de poros abiertos, de celdas, con paredes celulares selectivamente permeables o con superficies activadas (McCabe *et al.*, 1998).

Una de las grandes ventajas de los métodos de lixiviación es su aplicabilidad en todo el rango de tamaños de partículas, desde unos pocos micrones hasta grandes fragmentos de roca mineralizada previamente fracturada. Los reactivos químicos empleados (agentes lixiviantes) deben reunir muchas propiedades para su uso, por ejemplo, deben ser fácilmente recuperables, bastante selectivos para disolver determinados compuestos y su costo no debe ser elevado.

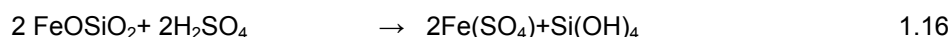
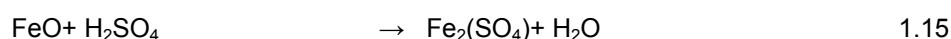
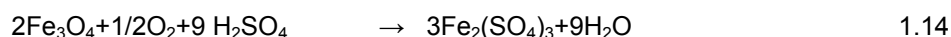
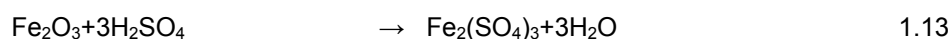
En general, la práctica industrial de la lixiviación presenta diferentes sistemas de operación que se seleccionan de acuerdo a factores técnicos y económicos, algunos de los cuales son: tamaño, forma y textura de las

partículas, factores mineralógicos (orientación cristalina, dislocaciones e impurezas), porosidad y efectos galvánicos (Meruane, 2002).

Para el caso del proyecto, específicamente *lixiviación ácida de escorias de descarte*, se realizaron variadas pruebas a escala de laboratorio, investigando condiciones óptimas de operación, recuperación, concentración ideal, masa de sólidos, material oxidante y tiempo de trabajo.

De acuerdo al análisis de estas experiencias, se adoptó que la obtención de Sulfato Férrico será a partir de escorias HLE y empleando como agente lixivante ácido sulfúrico (Ver Ecuaciones 1.13, 1.14, 1.15, y 1.16), pues es el compuesto que presenta eficiente recuperación en lixiviación, superior al 50%, con generación de ripios estables a neutros, soluciones de sulfato ferroso superiores a 30 (g/l), etapa de oxidación eficiente, fácil operación y mantención con eficiencias de oxidación de ferroso a férrico superiores al 90%.

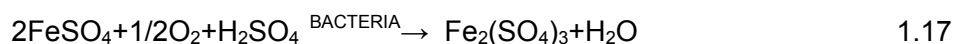
Las reacciones básicas involucradas en el proceso de lixiviación química del presente proyecto, son las siguientes Ecuaciones:



1.6.1.2 BIOOXIDACIÓN BACTERIANA

Aspectos teóricos respecto a este punto, fueron tratados previamente, por lo tanto, se abordará exclusivamente aspectos del proyecto en sí. Para realizar este proceso, el proyecto contemplará la utilización de la bacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans* y una especie nativa del Tranque Barahona, llamada “cepa mixta Barahona”. La principal acción química (Ver Ecuación

1.17) de estas bacterias en la producción de Sulfato Férrico, es su reacción con oxígeno y ácido sulfúrico como agente oxidante. Algunos autores (Acevedo, 2002) definen esta acción como un tipo de lixiviación oxidante.



1.6.1.2.1 *ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS*

Es un organismo quimioautotrófico, presenta forma bacilar, del tipo gram negativa. Algunas cepas tienen flagelos, su tamaño es de 0,5 a 1,7 (μ), es capaz de oxidar compuestos inorgánicos como iones ferrosos Fe^{+2} y azufre que le sirven como fuente primaria de energía. Del mismo modo, requiere de fuentes nutricionales para su óptimo desarrollo como NH_3 (amonio), fosfato (requerido para el metabolismo energético), iones metálicos como Mg^+ , que le es útil para la fijación del dióxido de carbono (CO_2).

Los medios de cultivo empleados presentan estos requerimientos, siendo el más importantes el 9K que contiene sulfato de amonio y magnesio. El carbono necesario para su arquitectura celular lo obtiene por fijación de CO_2 , de manera similar a las plantas verdes (Ciclo de Calvin-Benson). Es aerobio (requiere de O_2 como aceptor final de electrones), acidófilo pues se desarrolla en rangos de pH que varían entre 1,5 y 3,0 y a temperaturas que oscilan entre 25 - 35°C.

1.6.1.2.2 *CEPA MIXTA BARAHONA*

Está constituida por cepas del tipo *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans* (Informe Proyecto Ingeniería S.A., 2004). Es aerobio facultativo, quimiolitotótrofo, acidófilo con rangos de pH de 0,9 - 3,8, su potencial de oxidación, Eh, es 656 (mV). En cuanto a temperaturas de

crecimiento, su rango se encuentra entre 15 - 40°C. De acuerdo a investigaciones (Lakefield Research, 2004), “cepa mixta Barahona”, presenta mejor capacidad de oxidar iones Fe^{+2} y mejor resistencia a altas concentraciones de iones Fe^{+3} , As y N_2 . En términos económicos resulta ser bastante atractiva para la fundición, pues el costo es menor.

Según datos entregados por el laboratorio encargado del estudio e investigación de la cepa (Lakefield Research Chile S.A., 2005), las condiciones óptimas para un proceso ideal de lixiviación bacteriana, usando inóculos de las bacterias antes mencionadas, son los citados a continuación: temperaturas entre 15 - 35°C, pH entre 1,8 - 2,3 y Eh bajo los 0,5 V.

En la Figura N° 1.10 se muestra la Comparación General entre *Acidithiobacillus ferrooxidans* y la “Cepa Mixta Barahona” en cuanto a su capacidad de consumo de ión férrico. Se observa que la Cepa Mixta tiene mejor resistencia a concentraciones de Fe^{+3} y mejor velocidad de oxidación.

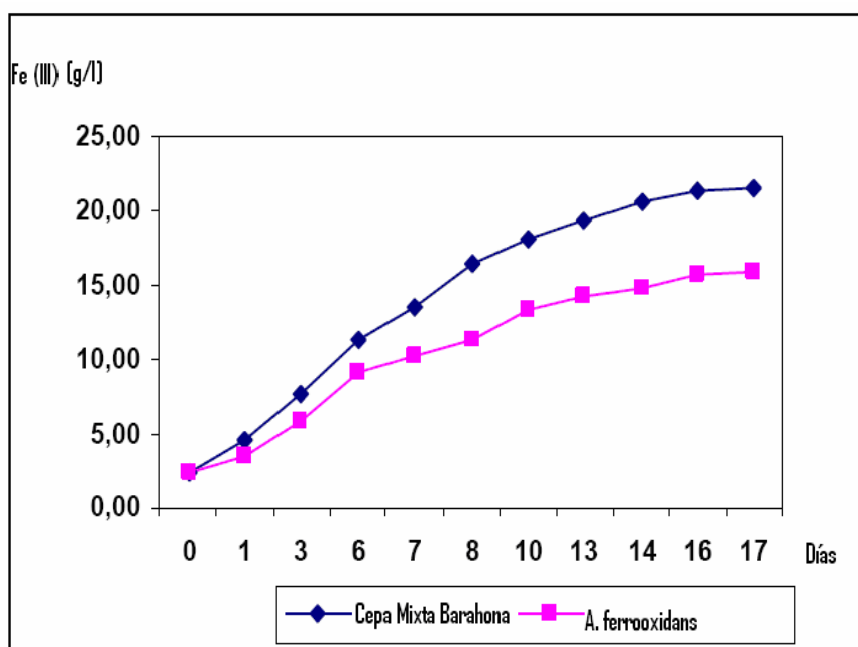


Figura N° 1.10 Consumo de iones férricos (Lakefield Research Chile S.A., 2005).

1.6.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE LIXIVIACIÓN

Su principal característica es el pre-tratamiento de los minerales, es un método de separación de un constituyente a partir de un sólido o un líquido por medio de un disolvente líquido. Se utiliza para disolver materia soluble a partir de su mezcla con un sólido insoluble. En lixiviación, la cantidad de material soluble separado es con frecuencia mayor que en el lavado de la filtración ordinaria y las propiedades de los sólidos pueden variar considerablemente durante la operación de lixiviación.

Una alimentación de sólidos troceados, duros o granulados, puede desintegrarse para formar una pulpa cuando se retira su contenido de material soluble. Cuando los sólidos forman una masa abierta y permeable a lo largo de toda la operación de lixiviación, el disolvente se puede percolar a través de un lecho no agitado de sólidos. Con materiales impermeables o que se desintegran durante la lixiviación, los sólidos se dispersan en el disolvente y después se separan de él; ambos métodos pueden realizarse por cargas o en operación continua (Mc Cabe *et al.*, 1998).

En Lixiviaciones en Pila se procesa óxidos y sulfuros secundarios para minerales de leyes bajas del rango de 0,3 a 1,5%. El ciclo de lixiviación demora menos de tres meses para minerales oxidados, mientras que para aquellos sulfurados el rango varía de 14 - 18 meses (Beckel, 2000).

La profundidad típica del mineral se encuentra entre 50 - 100 (m²) y una altura de 2 - 8 (m), contrastando con la lixiviación en botaderos que trata minerales en un rango de 0,1 a 0,5%, incluidos sulfuros primarios, presenta una profundidad superior a los 100 (m²) y alturas superiores a los 10 (m) (Smith, 2002). La Lixiviación por Agitación se aplica únicamente a minerales finos tales como concentrados, calcinas y colas para recuperación de óxidos.

La topografía y la preparación del suelo, para lixiviación en pilas, debe ser un suelo plano, impermeabilizado con membranas plásticas para facilitar la recolección de los lixiviados, evitar pérdidas y prevenir la contaminación de las napas subterráneas de agua.

En la Lixiviación en Botaderos, la situación es distinta, frecuentemente se explota botaderos antiguos, que en teoría no fueron pensados para usar esta técnica, y en general, el terreno no llevó ninguna preparación, excepto la necesaria en los perímetros para recoger los líquidos percolados. Sin embargo, la ventaja de su uso es el revestimiento más delgado, por lo tanto, disminución de costos de operación.

Se debe considerar especialmente, para los diversos tipos de lixiviación, el fenómeno denominado *licuefacción* que se define como “el colapso y desplazamiento de masas (remoción) mayores, provocada por una combinación de materiales de naturaleza colapsable (roca suelta, agua, erosión) y un evento activador del colapso (terremotos)”.

Ya en la década de los 80' el concepto cobra relevancia; Hutchinson (1988), menciona “*La licuefacción de Flowslide se caracteriza por el colapso repentino y corriente exterior extenso de la masa de material granular o escombros con alta a extrema velocidad, seguido por algunas perturbaciones*”.

Lo esencial es que el material involucrado tiene una estructura de porosidad meta-estable, suelta o altamente suelta. Paulatinamente, la pérdida de resistencia consecuente, da al material de falla un carácter semi-fluido y permite el desarrollo de un flowslide”.

Las fallas dinámicas generalmente se limitan a profundidades relativamente menores, es decir, menores de 20 (m), ya que la resistencia mayor por confinamiento reduce la susceptibilidad a este modo de falla. Por

lo tanto, estas son relativamente limitadas en su potencial destructivo. La forma de licuefacción más tardía, llamada estática o licuefacción de “flowslide” (desplazamiento de flujo) recién se está comprendiendo y los modelos predictivos y ensayos de campo están en proceso de desarrollo. El modelo principal ha sido desarrollado recién en el año 1998, por los investigadores Dawson, Morgenstern y Stokes.

2. CAPÍTULO “MARCO INTRODUCTORIO”

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Fundición Caletones son generados alrededor de 750.000 (ton/año) de *escorias de descarte* con una ley promedio de 42% de Fierro y 1% de Cobre. La escoria al ser insoluble en agua no presenta grados de toxicidad en cuanto a almacenamiento, no obstante, con el creciente aumento en la capacidad de fusión, a la fecha 1.130.000 (ton/año) de concentrados de cobre, la producción de escoria de igual forma aumentará, generándose un problema ambiental serio, en lo que a manejo y confinación de ésta se refiere.

Por otra parte, las Plantas de Limpieza de Gases (PLG), construidas bajo el Plan de Descontaminación de la Fundición Caletones (D.S. N° 175) para retener gases metalúrgicos como el Dióxido de Azufre (SO₂), Nitrógeno Gaseoso (N₂), Oxígeno Gaseoso (O₂), Arsénico (As), Material Particulado (PM 10) y otras impurezas provenientes del mineral, durante el proceso originan como subproducto del lavado de gases, *ácido sulfúrico*, compuesto químico de carácter corrosivo, utilizado al interior de la planta como agente neutralizante y recirculado a otros procesos de la División, además de su venta a terceros.

La Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE) recibe los desechos de las PLG, con el propósito de obtener residuos sólidos y líquidos (arsénico, anhídrido sulfuroso y ácido sulfúrico) estables y seguros en cuanto a manejo y disposición. Los coagulantes, neutralizantes y polímeros deben ser lo suficientemente inocuos, tanto para quien manipula el compuesto como para el medio ambiente. Con tal finalidad, se usa el *Sulfato Férrico*, *Lechada de Cal* y *Ácido Sulfúrico Diluido*, de esta forma se dará cumplimiento a los Reglamentos Medioambientales establecidos por la autoridad, específicamente en cuanto a estabilización de arsénico.

Por lo tanto, el tratamiento dado a todos estos gases y polvos debe ser bajo procedimientos eficientes, económicos, sustentables y utilizando las mejores tecnologías, con el fin de que la liberación de gases contaminantes a

la atmósfera sea cada vez menor, disminuyendo de esta forma el grave riesgo que significan tanto para la población humana como para el medio ambiente.

En consideración a lo anterior, se ha propuesto implementar el proyecto denominado “*Planta Generadora de Sulfato Férrico Biohidrometalúrgico en Fundición Caletones*”. La introducción de la planta de Sulfato Férrico permitiría procesar internamente escorias de descarte y ácido sulfúrico, evitando el aumento excesivo de Rises (residuos industriales sólidos) y la venta externa del ácido, con el respectivo peligro que este último representa en cuanto a manipulación y transporte vía marítima. Por otra parte, la planta permitirá conseguir un valor agregado al ácido y a las escorias, materias primas en la producción de Sulfato Férrico.

Bajo esta perspectiva nace la necesidad de conocer los posibles impactos que pueda causar sobre el entorno la construcción y operación de la Planta de Sulfato Férrico. La importancia de un desarrollo sustentable en las actividades mineras, fundamenta la realización de una evaluación ambiental del proyecto con el propósito de elaborar medidas preventivas y correctivas necesarias para su ejecución a fin de minimizar y mitigar sus impactos sobre el medio ambiente.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar y valorar los posibles impactos sobre el medio ambiente, originados por las fases de construcción y operación de la Planta Generadora de Sulfato Férrico, perteneciente a la División El Teniente en la ciudad de Rancagua, mediante una evaluación ambiental del proceso productivo.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 1

Efectuar una descripción detallada del proyecto y el área de Influencia, relacionando características generales, delimitación geográfica y situación preoperacional del área de emplazamiento.

OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 2

Determinar impactos ambientales significativos sobre el medio ambiente, derivados de las fases de operación del proyecto, con el fin de determinar su ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 3

Definir y proponer medidas de gestión ambiental adecuadas para el manejo, disposición final e identificación de los residuos sólidos, biológicos y sustancias peligrosas derivadas de la Planta Generadora de Sulfato Férrico.

2.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El origen y desarrollo del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, en cuanto a antecedentes jurídicos, surge en la “*National Environmental Policy Act*” del año 1969 (publicada el 1º de enero de 1970) en Estados Unidos de Norteamérica con la NEPA, Ley sobre Política Nacional del Ambiente (Astorga, 2000), conocida como la Carta Magna del Medio Ambiente.

En la Legislación Ambiental de nuestro país, todos los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley Nº 19.300) a modo de apreciar si dichos impactos se ajustan a las normas ambientales vigentes para soslayar tempranamente, cualquier detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a alguno de sus componentes. Con tal propósito, se realizará la Evaluación al Proyecto de Producción de Sulfato Férrico.

El SEIA, es el procedimiento a cargo de la CONAMA o de la COREMA, que en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes. Para definir la pertinencia de presentar un EIA o DIA y cumplir los requerimientos legales, es preciso examinar el artículo 11º de la Ley 19.300 y los artículos del Reglamento dependiente. Simultáneamente, revisar reglamentación asociada y referente.

Con esta perspectiva, la metodología utilizada para desarrollar este Proyecto de Título, consistirá en la unificación de elementos globales e integrales (revisión bibliográfica, matrices ambientales, expresiones matemáticas base para modelación, pruebas experimentales de laboratorio, simulación de emisiones generadas por el proyecto, realización de procedimientos) que permitan definir la procedencia ambiental del proyecto (DIA ó EIA), precisar eventuales puntos de riesgo sobre el medio ambiente que

se susciten en cada etapa de éste y que repercutan en la elaboración de medidas de gestión a proponer una vez finalizada la evaluación ambiental correspondiente.

OBJETIVO ESPECÍFICO N° 1

“Efectuar una descripción del proyecto y el área de influencia, relacionando características generales, delimitación geográfica y situación preoperacional del área de emplazamiento.”

Para realizar el estudio del proyecto, se desarrollará una descripción genérica del proyecto, con sus respectivas etapas, posibles áreas afectadas tanto positiva como negativamente, localización, infraestructura a utilizar e insumos. Asimismo, área de influencia, caracterización del medio y los impactos (positivos y negativos) que se generarán sobre éste.

OBJETIVO ESPECÍFICO N° 2

“Determinar impactos ambientales significativos sobre el medio ambiente, derivados de las fases de operación del proyecto, con el fin de determinar su ingreso al SEIA.”

Para identificar y valorar los aspectos ambientales asociados a los procesos productivos que inciden directamente sobre el proyecto se utilizó: listas de identificación y matriz de valoración.

El primer procedimiento aplicado, consistió en Listas de Chequeo prediseñadas (Hewitt & Gary, 1999) y adoptadas internamente para los procesos de la Fundición Caletones. Se identificaron los aspectos ambientales relevantes asociados a la Planta de Sulfato Férrico, los que posteriormente fueron evaluados con el método F.I.E.R.L.P recopilado de Urrutia 2001 (Ver Figura N° 2.1). A partir de las puntuaciones obtenidas para las magnitudes procedentes, se valora la Magnitud de Significancia (Ver Ecuación 2.1), al

valor conseguido se asigna el Nivel de Significancia correspondiente, expresado en la Tabla N° 2.1 que sigue.

Criterio	Descripción	Valor
Frecuencia (F)	Permanente, impactos del aspecto ocurren siempre o varias veces al mes.	4
	Frecuente, impactos del aspecto ocurren al menos una vez al mes.	3
	Pocas oportunidades, impactos del aspecto de difícil ocurrencia.	2
	Improbable, impactos del aspecto de difícil ocurrencia.	1
Intensidad (I)	Baja, cuando la alteración provocada por los impactos del aspecto, son pequeñas y la condición original de la componente ambiental prácticamente se ha mantenido.	1
	Media, cuando la alteración provocada por los impactos del aspecto, implican cambios notorios de la componente ambiental respecto de su condición original, pero dentro de rangos aceptables.	2
	Alta, cuando la alteración de la condición original de la componente ambiental es significativa.	3
Extensión (E)	Puntual, cuando su efecto se verifica dentro del territorio de empresa.	1
	Local, cuando su efecto se verifica más allá del territorio de la empresa, pero dentro del territorio administrativo.	2
	Extensa, cuando su efecto se verifica más allá del territorio.	3
Reversibilidad (R)	Reversible, aquel en que la alteración puede ser asimilada por el entorno, debido al funcionamiento de los procesos y mecanismo naturales de absorción del medio	1
	Recuperable, aquel en que la alteración puede ser solucionada mediante acciones correctivas	2
	Irrecuperable, impacto que no se revierte en forma natural, ni por la implementación de acciones correctivas.	3
Percepción Pública (P)	No existe registro escrito en medios de comunicación públicos ni preocupación por la autoridad fiscalizadora.	1
	Existen publicaciones en medios públicos locales y/o la autoridad ha manifestado su preocupación.	2
	Existen publicaciones en medios de comunicación nacionales y/o movilizaciones ciudadanas asociadas al aspecto.	3
Marco Legal (L)	No existen regulaciones.	1
	Existen regulaciones y se tiene evidencia de su cumplimiento.	3
	Existen regulaciones y no se esta cumpliendo o no se tiene certeza de su cumplimiento.	6

Figura N° 2.1 Matriz del Método F.I.E.R.P.L (Urrutia, 2001).

A continuación la Ecuación 4.1 para la Magnitud de Significancia:

$$\text{Magnitud} = F * (I + E + R + P + L)$$

2.1

Tabla N° 2.1 Nivel de Significancia Método F.I.E.R.P.L.

Carácter	Puntuación	Nivel Significancia
+	5-31	Baja Significancia
++	32-57	Media Significancia
+++	58-84	Alta Significancia

Fuente: Manual de Sistema de Gestión Ambiental ISO 14.001 (Urrutia, 2001).

El segundo método es la utilización de la Matriz de Valoración Cualitativa, es un procedimiento sencillo desarrollado por Vicente Conesa Fernández-Vitora en el año 1997, su aplicación consigue dar un grado numérico a la importancia de un impacto determinado, focalizándose el grado de manifestación que éste representa en base a su caracterización completa. Su aplicación deriva luego de identificar o caracterizar aspectos, de acuerdo a criterios de interrelación causa-efecto. Para determinar la importancia del impacto (I) sobre el medio se utiliza la Ecuación 2.2 que sigue a continuación:

$$(-I) = \pm (3 IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + C) \quad 2.2$$

Donde:

Intensidad (IN)= Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico que se actúa.

Extensión (EX)= Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el impacto).

Momento (MO) = Es el plazo de manifestación del impacto, alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción (t_0) y el comienzo del efecto (t_j) sobre el factor del medio considerado.

Persistencia (PE)= Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir de cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.

Reversibilidad (RE)= Posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto.

Sinergia (SI)= Contempla el reforzamiento mutuo de dos o más efectos simples. La resultante total de la manifestación de los efectos simples provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que se podría esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera individual, no simultánea.

Acumulación (AC)= Da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Efecto (EF)= Atributo que se refiere a la relación causa-efecto, es decir la forma en que se manifiesta el efecto sobre un factor, como consecuencia de una determinada acción.

Recuperabilidad (MC)= Referido a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

Periodicidad (PR)= Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o de constante en el tiempo (efecto continuo).

La Matriz de Valoración Cualitativa se efectuará a partir de la Lista de Chequeo (Identificación de Impactos). En la Figura N° 2.2 se aprecia la Descripción de cada Criterio y su Valor de Importancia. Los rangos para la Importancia del Impacto (I), se encuentran descritos en la Tabla N° 2.2 que señala la Importancia del Efecto de una acción sobre un factor ambiental, que

no debe confundirse con la importancia del factor ambiental afectado. La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100.

Tabla Nº 2.2 Rangos de Importancia (Matriz de Valoración).

Carácter	Puntuación
Impacto Irrelevante	$I < 25$
Impacto Moderado	$25 < I < 50$
Impacto Severo	$50 < I < 75$
Impacto Crítico	$I > 75$

Fuente: Guía Metodológica para Evaluación del Impacto Ambiental (Conesa, 1997).

Los valores intermedios (40 y 60) responden a alguna de las siguientes circunstancias:

- Intensidad total y afección mínima de los restantes símbolos.
- Intensidad muy alta o alta y afección alta o muy alta de los restantes símbolos.
- Intensidad alta, efecto irrecuperable y afección muy alta de alguno de los restantes símbolos.
- Intensidad media o baja, efecto irrecuperable y afección muy alta de al menos dos de los restantes símbolos.

Los impactos con valores de importancia inferiores a 25 son irrelevantes o sea, de acuerdo con el reglamento, compatibles. Los impactos moderados presentan una importancia entre 25 y 50. Es muy importante reseñar que, al igual que sucede con los valores de los distintos símbolos (intensidad, efecto, extensión, momento, etc.), los valores de las cuadrículas (elemento tipo) de una matriz no son comparables, pero sí lo son cuadrículas y símbolos que ocupen lugares equivalentes en matrices que reflejen resultados de alternativas de un mismo proyecto, o previsiones de estado de situación ambiental consecuencia de la introducción de medidas correctoras.

Criterio	Descripción	Importancia	Valor
Naturaleza	Impacto Beneficioso (+)		
	Impacto Perjudicial (-)		
Intensidad (IN)	Incidencia de la Acción sobre el Factor (Grado de Destrucción)	Baja	1
		Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
Extensión (EX)	Área de Influencia Técnica	Puntual	1
		Parcial	2
		Extenso	4
		Total	8
		Crítica	+4
Momento (MO)	Plazo de Manifestación del Impacto	Largo Plazo	1
		Medio Plazo	2
		Inmediato	4
		Crítica - Crítica	+4
Persistencia (PE)	Permanencia del Efecto	Fugaz	1
		Temporal	2
		Permanente	4
Reversibilidad (RE)	Reconstrucción del Factor Afectado	Corto Plazo	1
		Medio Plazo	2
		Irreversible	4
Sinergia (SI)	Manifestación de los Efectos Simples provocados por acciones simultáneas	Sin sinergismo Simple	1
		Sinérgico	2
		Muy sinérgico	4
Acumulación (AC)	Incremento de la Manifestación del Efecto (Incremento Progresivo)	Simple	1
		Acumulativo	4
Efecto (EF)	Relación Causa-Efecto	Indirecto (secundario)	1
		Directo	4
Periodicidad (PR)	Regularidad de la Manifestación del efecto	Irregular y discontinuo	1
		Periódico	2
		Continuo	3
Recuperabilidad (MC)	Retomar Condiciones Iniciales (Reconstrucción por Medios Humanos)	Recuperable de forma inmediata	1
		Recuperación a medio plazo	2
		Mitigable	4
		Irrecuperable	8

Figura Nº 2.2 Matriz de Valoración Cualitativa (Conesa, 1997).

OBJETIVO ESPECÍFICO Nº 3

“Proponer Medidas de Gestión Ambiental para el manejo, disposición final e identificación de los residuos y sustancias peligrosas derivadas de la Planta Generadora de Sulfato Férrico”.

Para proponer Medidas de Gestión Ambiental, se efectuó un compendio con los resultados trascendentales conseguidos durante todo el transcurso de la investigación. La documentación relevante se estableció como procedimientos que la empresa pudiese utilizar (Hojas de Seguridad, Identificación de Etiquetas, uso de Normativa Ambiental, etc.) de manera que los elementos que lo conforman sirvan como referencia.

3. CAPÍTULO “DIAGNÓSTICO”

3.1 ANTECEDENTES GENERALES PROPUESTOS

3.1.1 PROPÓSITO DEL PROYECTO

El proyecto consistirá en la construcción y operación de una planta con una superficie de 1000 (m²), cuyo fin es la recuperación de fierro y generación de Sulfato Férrico [Fe₂(SO₄)] a partir de un proceso combinado de lixiviación ácida de escorias de descarte generadas en los Hornos de Limpieza de Escorias (HLE) y la biooxidación de iones ferrosos, mediante la acción catalítica del cultivo mixto de bacterias compuesto por *Acidithiobacillus ferrooxidans* y una Cepa Nativa del Tranque Barahona perteneciente a la Fundición Caletones.

Básicamente se utilizarán dos pilas, una de lixiviación como tal y otra como biopila. Se contará al mismo tiempo con tres piscinas cuya superficie aproximada es de 25 (m²) cada una, destinadas a almacenar las soluciones.

Con la utilización de ácido sulfúrico como agente lixivante (900 ton/año) generado en las etapas de limpieza de las Planta de Limpieza de Gases (PLG) y la adición de escorias de descarte (2.100 ton/año), se conseguirá el subproducto sulfato ferroso, el que al oxidarse en la etapa de biooxidación por medio de bacterias ferrooxidans, antes descritas, generará el producto comercial Sulfato Férrico (Proyecta Ingeniería S.A., 2005) que será utilizado posteriormente en la Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE).

En la Figura N° 3.1 se presenta un Diagrama de los Procesos de la Fundición Caletones involucrados directamente con la Planta Generadora de Sulfato Férrico (Convertidores Teniente, Convertidores Pierce-Smith, Horno Limpieza Escorias y Planta Tratamiento Efluentes). Se aprecian los flujos de entrada y salida, así como los compuestos a utilizar en la implementación y operación.

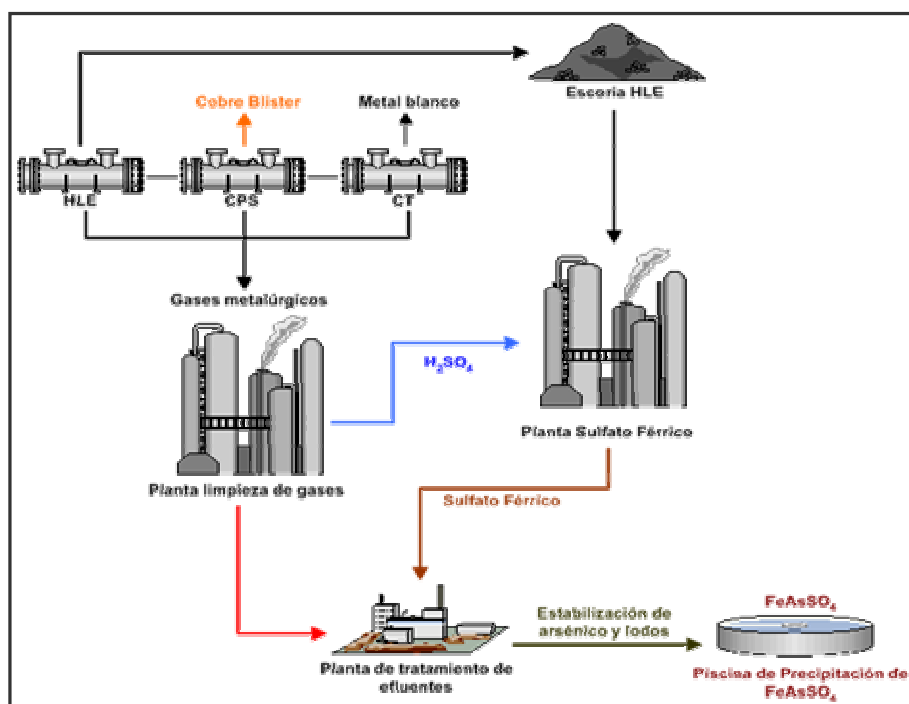


Figura N° 3.1 Procesos de la Planta Generadora de Sulfato Férrico (Elaboración propia).

3.1.2 ESPECIFICACIONES DE LAS PILAS

El sistema consistirá en pilas de 120 (m²) y 180 (m²) con 1(m) de altura aprox., cargadas con escoria granallada HLE (2.100 ton/año) previamente curada y operadas en forma dinámica. El riego se efectuará con agua industrial (11.500 ton/año) y ácido sulfúrico (900 ton/año) a una concentración de 60 - 70 (g/l), una tasa de riego de 12 (l/h/m²) y una producción total de 300 (ton/año) de Sulfato Férrico. Se estima que la solución lixiviada presentará una concentración de 30-32 (g/l) de sulfato ferroso y será almacenada en dos piscinas de inoculación con superficie aproximada de 25 (m²) cada una.

El control se efectuará mediante un análisis químico de la escoria, residuo lixiviante y solución percolada por fierro total, acidez libre, cobre, molibdeno y silicio. La configuración definida es una pila de biooxidación de la solución con sulfato ferroso, utilizando para ello un lecho de material granular

inerte (grava gruesa o mineral estéril fracturado). Las pilas de biooxidación permanecerán regadas con la solución proveniente de las piscinas de inoculación a una tasa de 8 - 9 (l/h/m²) con una concentración de 30 - 33 (g/l) de Fe⁺².

En estas piscinas, existirá una población microbiana activa, periódicamente inoculada con cepa Barahona, proveniente de los cultivos permanentes del Laboratorio Metalúrgico de la Fundición. Se estima una concentración de alrededor de 300 (g/l) de Fe⁺³ en el efluente, éste será acumulado en piscinas para su posterior distribución a los lugares definidos para el abatimiento de arsénico, o en su defecto, a algún proceso (purificación y/o concentración) que pudiese necesitar dicho producto, p.e, su traslado a la Planta Tratamiento de Polvos Fundición, ubicada en el sector de Colón.

Aún cuando el material de las pilas será fijo, ya que sólo cumplirá con la función de entregar mayor área de adhesión microbiana, el diseño considerará además un recambio periódico del material. Una vez alcanzada una población estable en las pilas de biooxidación, se piensa inocular el sistema constantemente.

En la Figura N° 3.2 se sugiere la Configuración del Sistema de Pilas, propuesto por IMM (Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia) para el Proceso Biohidrometalúrgico antes descrito.

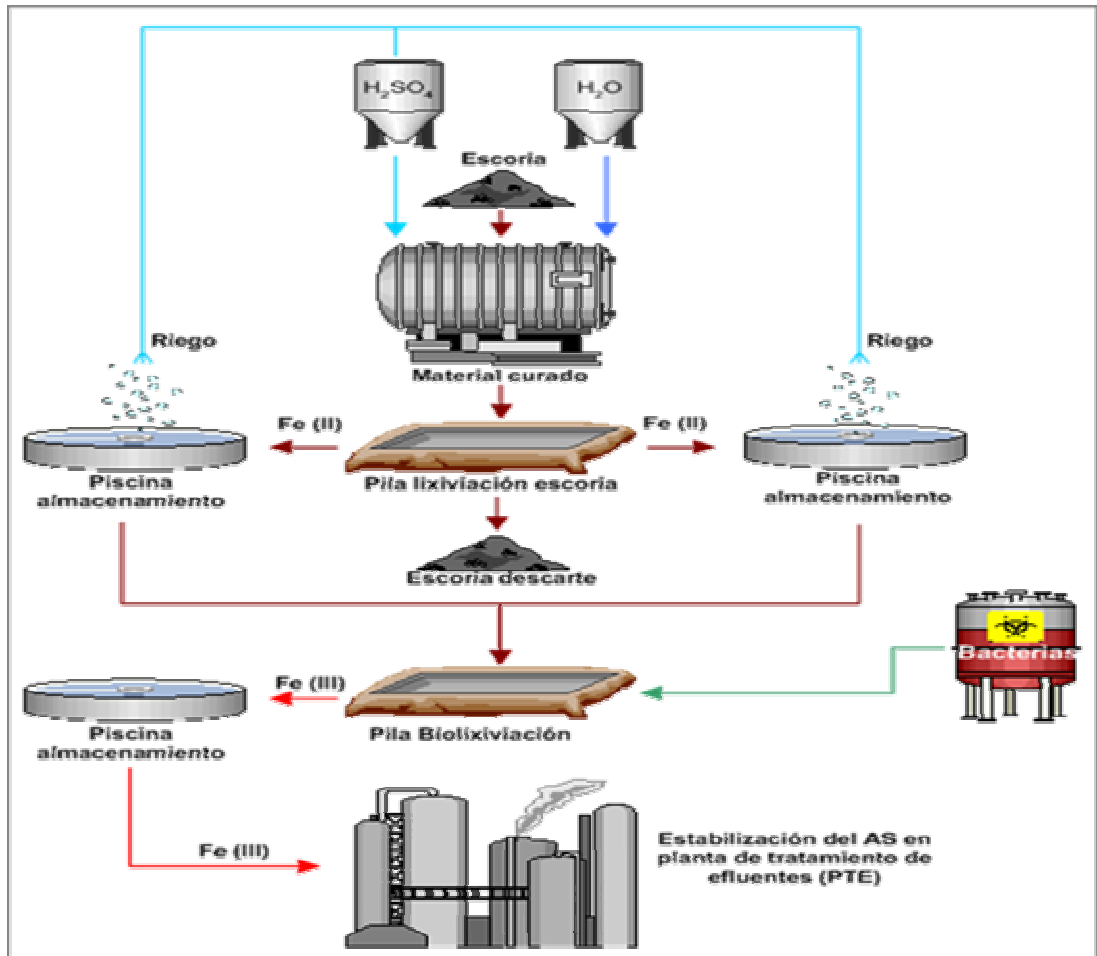


Figura N° 3.2 Configuración Pilas de Lixiviación (Elaboración propia, basada en la propuesta de IMM, 2005).

3.1.3 ETAPAS DEL PROYECTO

3.1.3.1 DISEÑO DE OBRAS FÍSICAS

Se considera la preparación del terreno para la instalación del galpón que albergará la infraestructura total, pilas de lixiviación, biopilas, piscinas de almacenamiento, estakes de depósito de materiales (ácido sulfúrico, escorias de descarte e inóculo bacterial), tambor rotatorio, carpeta impermeable para protección del suelo, cañerías de drenaje, bombas de impulsión de soluciones y oficinas de trabajo.

3.1.3.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Se considera la ejecución de obras destinadas a la recepción, almacenamiento y dosificación de ácido sulfúrico, inóculo de bacterias a utilizar y volúmenes necesarios de escoria de descarte. Asimismo, la construcción y operación de las pilas de lixiviación, captación de soluciones, cañerías de alimentación para riego de pilas, canalización para captar precipitaciones pluviales y nivales e infraestructura de apoyo.

3.1.3.3 FASE DE OPERACIÓN

Se contempla los procesos de manejo de ácido sulfúrico, escorias de descarte, componente bacterial, soluciones lixiviadas y solución final de férrico. Además, la remoción y transporte de escorias lixiviadas conjuntamente con las soluciones ácidas derivadas del proceso; conformación final de las pilas, ciclos de tratamiento de éstas (carguío, curado, lixiviado, biolixiviado y drenaje), verificación del proceso a través de balances de masa y pruebas de laboratorio.

En la Figura N° 3.3 se representa un Esquema de la Planta con la Distribución de las Etapas e Infraestructura del Proyecto. Los materiales a usar son: trenes de excavación conformados por retroexcavadora, tolva de transferencia, correas de transferencia, mini cargadores, estaciones de aglomerado, apiladores radiales, unidad conformada por 2 estanques de almacenamiento, sistema de conducción de solución ácida, pilas de lixiviación conformadas por carpeta impermeable de 0,3 (mm) de espesor, uniones cosidas, plegadas y pendiente de 1% (Información recopilada del estudio previo para la Declaración de Impacto Ambiental “*Depósito para las Escorias de Descarte de la Fundición*” efectuada por Consultora CADE-IDEPE (P-1657) el año 2000), sistema de conducción, captación de solución, sistema de drenaje, sistema de riego de pilas, captación de filtraciones y precipitaciones eventuales (pluviales y nivales), abastecimiento de “agua Make-Up” y energía

eléctrica, infraestructura de apoyo compuesta por container habilitado para oficina.

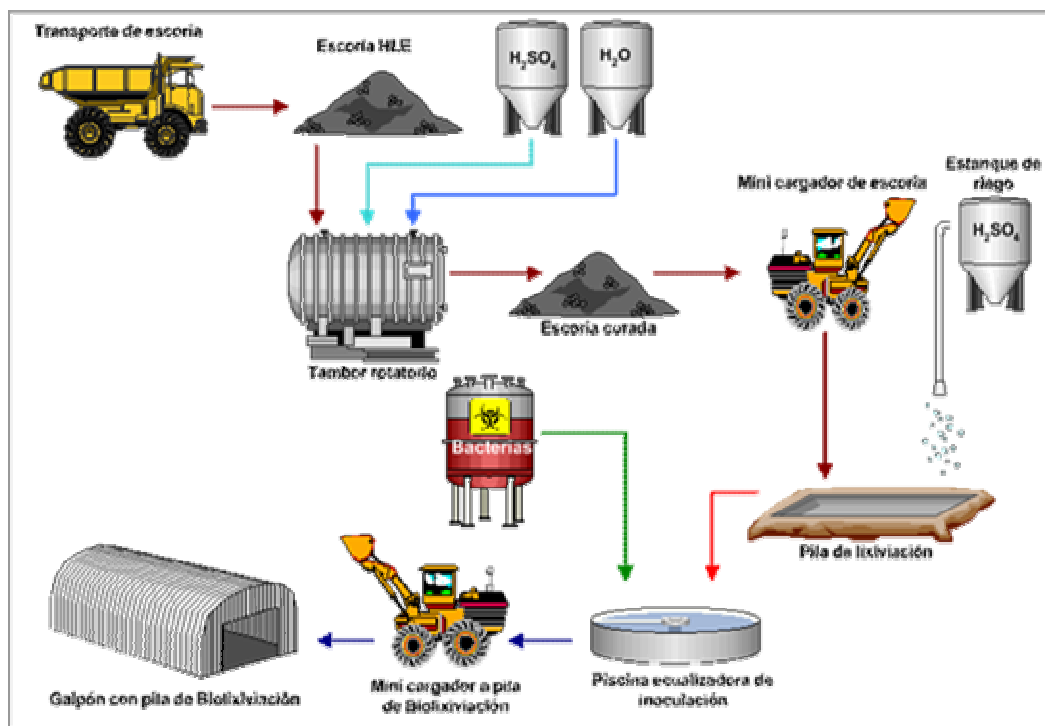


Figura N° 3.3 Etapas e Infraestructura de la Planta de Sulfato Férrico (Elaboración propia, basándose en el modelo propuesto por IMM, 2005).

3.1.4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto está localizado dentro de la propiedad de la División El Teniente, en la zona cordillerana de la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Provincia de Cachapoal, Comuna de Machalí, a 50 (Km) al noroeste de la ciudad de Rancagua, entre las cotas 1.400 y 1.550 m.s.n.m.

La superficie que comprenderá el proyecto, es de 1.000 (m²) cuyo emplazamiento se desarrollará en su totalidad, dentro de los actuales límites del área minero-industrial de la División. La Figura N° 3.4 expone la Ubicación General del Proyecto.

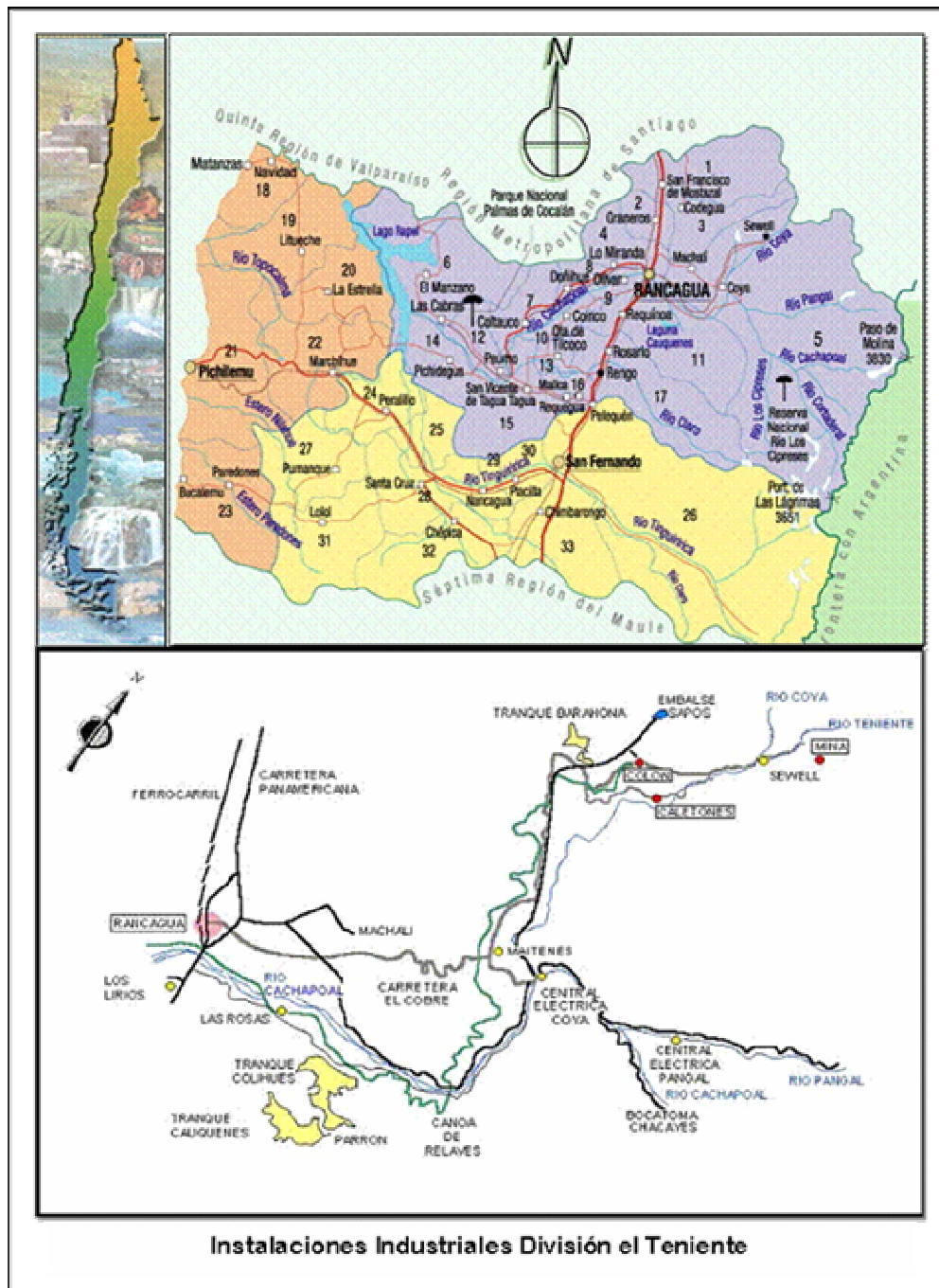


Figura N° 3.4 Ubicación Geográfica de la Planta Sulfato Férrico (Sernatur, 2005).

3.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL PROYECTO

La descripción está basada en los tipos y cantidades de materias primas, energía y otros recursos consumidos, además de residuos y emisiones por tipo, cantidad, composición e intensidad, incluyendo emisiones a la atmósfera, ruido y residuos en terreno (riles). Se encuentran referidos en primer plano al proceso productivo de la planta generadora de Sulfato Férrico (PSF) y consiguientemente, a la relación de ésta, ya sea directa o indirectamente, con los procesos de la fundición.

3.2.1 MATERIAS PRIMAS

En el proceso de producción de Sulfato Férrico se utilizan los siguientes insumos o materias primas:

3.2.1.1 ESCORIA HORNO LIMPIEZA DE ESCORIAS

Los componentes principales de la escoria HLE (en muestra de 47,8 kg) son las siguientes especies químicas: arsénico, cobalto, plomo, antimonio, manganeso, zirconio, nobelio, fierro, estaño, galenio. Su uso (2100 ton/año) está dado en las pilas y biopilas.

3.2.1.2 ÁCIDO SULFÚRICO

La preparación comercial contiene de 93-98% de ácido sulfúrico en agua. Es un oxidante fuerte y altamente reactivo. El volumen utilizado es de 900 (ton/año).

3.2.2 ENERGÍA

Las energías empleadas son: energía eléctrica y uso de combustibles. Para obtener energía calorífica, el gas natural, petróleo y enap-6. La energía eléctrica es empleada en las actividades de producción como el

funcionamiento de precipitadores, ventiladores, motores y otras maquinarias. Para el caso de la Planta de Sulfato Férrico, el principal uso es en tambores rotatorios, agitadores y alumbrado.

3.2.3 AGUA

El consumo de agua de la planta, corresponde “agua Make-Up” (agua de reposición) que serán recirculadas constantemente. El volumen total de requerido es de 11.500 (m³/año) aproximadamente, enfocado principalmente al riego de pilas de lixiviación. Su destino final, por lo tanto, corresponderá a otros procesos de la fundición.

3.2.4 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

En cuanto a emisiones atmosféricas, resulta importante la cantidad de material particulado derivado del proyecto en forma diaria. Para las acciones de construcción y operación, la emisión es de baja importancia debido al tiempo de ejecución. El manejo y formación de las pilas sí representó un foco riesgoso, por lo tanto, se evaluó. Emisiones gaseosas no fueron generadas, por lo que no se requirió método de análisis.

3.2.5 RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES

Los residuos líquidos industriales (asociados a PSF) con descarga fuera de la industria, corresponden a los residuos biolixiviados generados en la Pila de Tratamiento Bacterial de la Planta de Sulfato Férrico (PSF).

El residuo biolixiviado será enviado a la Planta de Tratamiento de Efluentes. El análisis realizado a distintas muestras de este residuo, arrojó que contiene en su mayoría trazas de fierro, azufre y arsénico, las que dadas sus características físico-químicas, no resultan peligrosos.

3.2.6 RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

Los residuos sólidos o semisólidos resultantes de algún proceso u operación industrial, que no son reutilizados, recuperados o reciclados en el mismo establecimiento industrial (Resolución N° 5.081/93 SESMA) son considerados Rises. La planta origina como residuo industrial sólido “escoria lixiviada y biolixiviada” en la primera y segunda etapa de producción de Sulfato Férrico (según art. 23 del Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos, estas escorias lixiviadas/biolixiviadas no son consideradas “residuos peligrosos”).

Los análisis físico-químicos realizados por SGS Lakefield Research muestran que la escoria lixiviada presenta un pH ácido, con un valor de 1,8 (Informe Avance 42 IMM, 2004) y un potencial de oxidación (Eh) de 353. Al ser lavadas con “agua Make-up”, elevan su pH a 5. La Tabla N° 3.1 señala los parámetros químicos analizados en laboratorio.

Tabla N° 3.1 Análisis Experimental de Escoria Lixiviada.

Elemento Químico	Cantidad	
Fe	36,8	%
Al	1,59	%
Cu	1,06	%
K	0,59	%
S	1,3	%
Mg	0,24	%
Ti	0,43	%
Na	0,24	%
Mo	4360	ppm
Zn	1730	ppm
P	770	ppm
Cr	478	ppm
Pb	441	ppm
As	523	ppm
Ba	150	ppm
Sb	297	ppm
Co	132	ppm
Mn	144	ppm
V	70	ppm
Bi	2	ppm
Sr	60	ppm
Ni	22	ppm
W	30	ppm
Ag	1,9	ppm
Ca	0,66	%
Be	<0.5	ppm
Cd	5,8	ppm

Fuente: SGS Lakefield Research Chile S.A., 2005.

3.2.7 SUSTANCIAS PELIGROSAS

3.2.7.1 ÁCIDO SULFÚRICO

El ácido sulfúrico es un líquido corrosivo Clase 8 según la NCh. N° 2120 Of 89. Es una sustancia que reacciona violentamente con el agua desprendiendo calor, es altamente corrosivo para muchos metales y para los tejidos corporales. Bastante reactivo, capaz de causar incendios o explosiones generando vapores tóxicos.

3.2.7.2 SULFATO FERROSO

El sulfato ferroso en solución, se encuentra en el ámbito corrosivo Clase 8 según Normativa Internacional (Eaglebrook, 2003). Producto generado previamente al Sulfato Férrico, presenta iones Fe^{+2} . Su descripción se encuentra detallada en Capítulo 1.

3.2.7.3 SULFATO FÉRRICO

El Sulfato Férrico es un sólido Clase 8 (Corrosivos) según “*Guía de Respuesta en caso de Emergencia*” desarrollada por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos y colaboración de Transporte de Canadá Seguridad y Materiales Peligrosos (Documentación recopilada de la empresa Redoxiwater[®] S.A., actual distribuidor del producto en Fundición Caletones).

De acuerdo a Eaglebrook Inc., en informe elaborado (Material Safety Data Sheet) el año 2004, el producto pertenece a la Clase E “Irritante a la piel y mucosas” (de acuerdo a Hazardous Materials de WHMIS) y se establece su “corrosividad”. Particularidades y detalles, en Capítulo 1.

3.2.8 CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La generación de ruidos corresponde principalmente a las actividades relacionadas con la preparación del terreno para la construcción de las pilas de lixiviación y piscinas de almacenamiento.

La construcción de un galpón que será utilizado para protección de las pilas, instalación de oficinas y en un costado como bodega, es otro factor a considerar. Igualmente, se producirá ruido debido al tránsito de camiones que dotarán de ácido sulfúrico a la planta y que se emplearán en la construcción de las pilas lixiviantes.

3.3 DESCRIPCIÓN ÁREA DE INFLUENCIA

3.3.1 ÁREA TEMÁTICA RECURSOS FÍSICOS

3.3.1.1 CLIMA

3.3.1.1.1 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

El clima de zona de estudio se puede agrupar según dos tipos de sistema de clasificación según Köeppen y según la agroclimática de Chile. De acuerdo a Köeppen en la zona de estudio se encuentran dos tipos de climas según la zonación climática de Köeppen, la región ubicada entre los 750 a 3.200 m.s.n.m. tiene un clima transicional entre templado cálido con estación seca prolongada y clima de nieve por efecto de la altura.

El clima Templado cálido con estación seca prolongada, se basa en datos recolectados de Santiago y Talca. Este clima se caracteriza por tener temperaturas inferiores a 18°C y superiores a 3°C en los meses de frío, con 4 a 5 meses de humedad. Este clima caracteriza la depresión longitudinal de Chile entre los 33° y 36° Latitud Sur y a una cota de 1.500 m.s.n.m. En la zona de estudio corresponde a la mitad Sur.

Las temperaturas medias varían entre 14 a 14,8 °C, aumentando hacia el Sur. El mes más cálido corresponde a enero con una temperatura media entre 20 y 22,1°C y el mes más frío corresponde a julio con temperaturas medias de 8,1° a 8,5°C. La variación térmica en verano es de 17,5°C y en invierno de 10,7°C. Las características térmicas se exageran hacia el Sur debido a la menor altitud de la depresión longitudinal.

Las lluvias son ciclónicas y exageradas por el efecto del relieve. Las precipitaciones mayores a 50 (mm) se acumulan en el sector Norte de la zona de estudio entre los meses de mayo y agosto, y en la parte Sur, entre los meses de mayo y septiembre. Las precipitaciones medias anuales varían

entre 356,3 (mm/año) a 716,3 (mm/año), mayores en el sector Sur. Los vientos son generalmente Norte y Noroeste con influencia marítima. En condiciones de buen tiempo los vientos son generalmente Sur-Suroeste en la zona de estudio.

Según zonas agroclimáticas, los distritos agroclimáticos se definen como áreas con clima homogéneo, en cuanto a la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y otros parámetros físicos. Esta clasificación se basa en la importancia agrícola del clima, definidos por CIREN-CORFO (1990).

La zona de estudio comprende los distritos agroclimáticos denominados como Precordillera de Rancagua, Cordillera Media de Rancagua y Alta Cordillera de Rancagua (distritos 7, 8 y 9, respectivamente).

Los dos primeros distritos se diferencian significativamente en cuanto a las características térmicas e hídricas, sin embargo los distritos de la Cordillera Media y Alta Cordillera, presentan sólo variaciones en las características térmicas, manifestando una clara influencia de la altitud.

3.3.1.1.2 PRECIPITACIONES

En Rancagua caen en promedio 450 (mm) anuales, observándose un aumento del agua caída a medida que se avanza hacia el sur. Los meses lluviosos son mayo, junio, julio y agosto. Las temperaturas promedios durante el día, oscilan entre los 7,5°C en el mes más frío (julio) y 30°C los meses más cálidos, enero, febrero y marzo (ONEMI, 2005).

La cuenca del río Coya tiene un régimen hidrológico mixto nivo-fluvial. Las precipitaciones anuales promedio (lluvia más equivalente en agua de la

nieve) presentan valores de 1.475 (mm), 950 (mm) y 650 (mm) en Sewell, Colón y Caletones, respectivamente (Ramírez, 2002).

La lluvia se presenta principalmente entre los meses de abril y octubre, observándose los mayores promedios mensuales en los meses de mayo, junio y julio, reduciéndose en agosto. Precipitaciones de menor consideración, ocurren en septiembre y en abril. Los meses de octubre a marzo se consideran meses secos (Ver Figura N° 3.5).

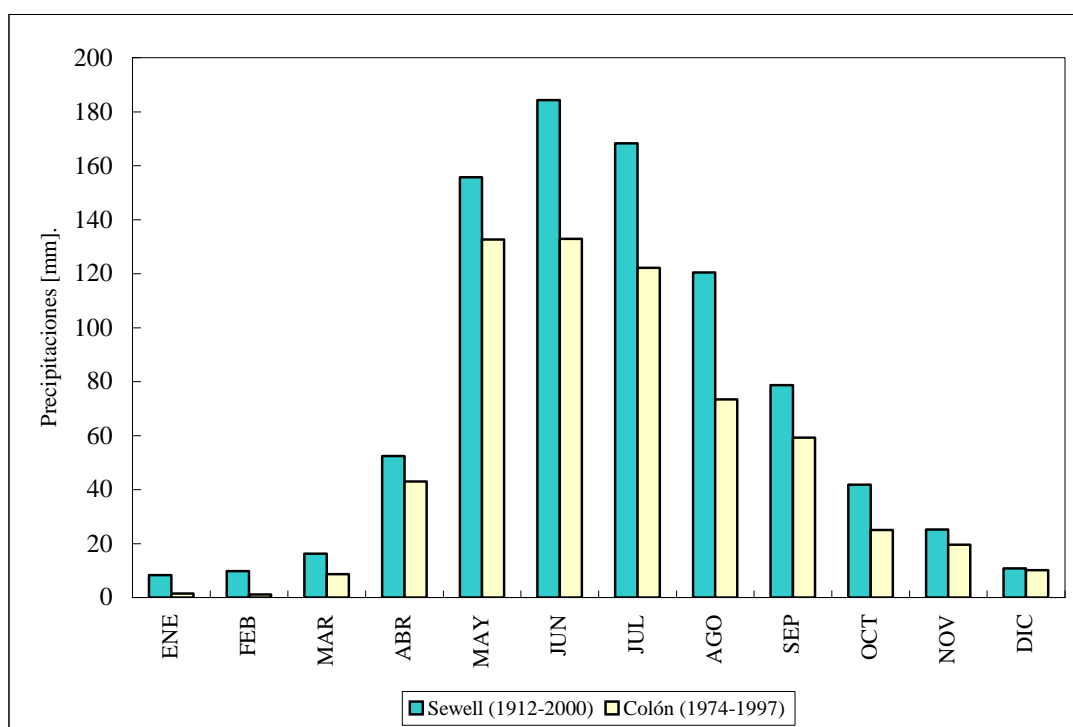


Figura N° 3.5 Precipitaciones Zona de Estudio (Ramírez, 2002).

Los caudales analizados corresponden a los medidos por el Departamento de Recursos Hídricos durante el 2000 hasta 2003. Se localizan seis estaciones en la cuenca del río Coya, estos corresponden a tres en el río Coya y a tres en subcuencas: río Coya antes de la confluencia con quebrada Teniente, río Coya antes de quebrada Sapos, río Coya antes de la confluencia con río Cachapoal, quebrada Teniente, quebrada Sapos y quebrada Barahona.

En general, los caudales del río Coya son mínimos entre abril y agosto, incrementándose a partir de septiembre y alcanzando valores máximos entre noviembre y diciembre. Estos valores máximos están relacionados con los deshielos. Aguas abajo en el río Coya, aumenta el volumen de agua, por la adición de agua por partes de quebradas laterales que drenan hacia el río Coya.

Las características térmicas e hídricas varían espacialmente en la cuenca del río Coya, así, hacia la cordillera, sector de Sewell, las precipitaciones y las temperaturas tienden a ser más bajas que en las zonas precordilleranas, como el sector de Barahona.

Resumiendo los antecedentes anteriores, se observa que, en general, las precipitaciones se concentran en los meses de abril hasta agosto y los caudales son mínimos en este período. Para los meses de noviembre hasta marzo, las precipitaciones disminuyen.

3.3.1.1.3 NIEVE CAIDA

De acuerdo a datos meteorológicos del Departamento de Hidrología de la Fundición Caletones, la nieve caída en la zona el año 2004 fue un promedio de 3,09 (mm), medida bajo la forma de precipitación en forma de nieve. En general, la zona presenta períodos con bastante nieve acumulada, especialmente los meses de mayo y junio.

3.3.1.1.4 TEMPERATURAS

En invierno se observa como promedio 21,3°C como máxima y 2,1°C como mínima, en primavera la máxima alcanza 29,6°C y una mínima de 6,1°C, para la estación de verano la máxima es de 32,5°C y la mínima 7,6°C, en otoño la máxima temperatura alcanza 22,5°C y 5,5°C registrados como temperatura mínima.

3.3.1.1.5 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa del sector, alcanza un valor de 86,88% como máxima y un promedio anual de 32,27%. Estos datos son registrados por el Departamento de Hidrología de la Fundición para el año 2004.

3.3.1.1.6 RADIACIÓN SOLAR

El sector se caracteriza por presentar un marcado cambio de estaciones climáticas. Los valores registrados para el mes de enero del año 2004, fueron en promedio un 2,91 (W/m²), en tanto que para el mes de junio 0,90 (W/m²) y para diciembre del mismo año, se registró un valor de 3,18(W/m²).

3.3.1.1.7 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Los valores para la presión atmosférica de la zona, en el mismo año antes mencionado, en promedio registran 807 (mbar). Esto puede explicarse, debido a la altura del sector y las condiciones climáticas presentes.

3.3.1.2 GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se encuentra en la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes. Incluye toda la cuenca del río Coya y sus principales afluentes, ocupando una superficie estimada de 255 (Km²). La orientación de la cuenca del río Coya es NNE a SSW. El ancho de la cuenca varía entre 4 a 13 (Km).

La cuenca presenta una altura máxima de 3.832 m.s.n.m., en las nacientes del río Coya y la altura más baja corresponde a la confluencia del río Coya y Cachapoal, a 795 m.s.n.m. Por lo tanto el desnivel topográfico existente en la cuenca del río Coya es de aproximadamente de 3.037 m.s.n.m.

En general la densidad de ríos en la cuenca es de 1,8 (Km/Km²), pero la cantidad relativa de cursos de agua en la cuenca varía según la ubicación geográfica entre 0,94 a 2,40 (Km/Km²). El principal curso de agua en la cuenca es el río Coya, afluente del río Cachapoal, la cual tiene 33,5 (Km) de largo y orientación NNE-S.

El valle y sectores importantes de la región, están rellenos y cubiertos por depósitos laháricos probablemente cuaternarios, éstos rellenan la quebrada Barahona a lo largo de todo el tramo que incluye a los tranques de relave, se presenta como una formación heterométrica de tono rosado pálido, con clastos subangulosos a angulosos, en una matriz de material fino aparentemente cinerítica.

Los cordones montañosos que limitan la quebrada hacia el poniente, corresponden a rocas volcánicas de la formación Coya-Machalí (cretácica superior). Esta formación manteea hacia el oeste para formar el flanco oriental de un sinclinal cuyo eje presenta un rumbo NNE.

La inclinación de las capas en el sector oriental se produce hacia el este y corresponde a rocas volcánicas y volcano-clásticas de la formación Farellones, de edad terciaria inferior, se indica el contacto discordante entre las formaciones Coya-Machalí y Farellones, contacto situado en el cordón Cerro La Puerta del León.

Esta disposición estructural ha sido puesta en evidencia por Klorn 1960, mientras que la presencia de los depósitos piroclásticos cuaternarios fue confirmada en la Carta Geológica de Chile.

3.3.1.2.1 RELIEVE

El relieve se caracteriza por ser cordillerano con influencia de procesos glaciales y fluviales. La topografía del sector de estudio representa un relieve suave y quebradas profundas, flanqueado por dos cordones de cerros de mayor altura en la parte Oeste y Sureste, con una orientación aproximada de N20° E.

La geomorfología de los valles es joven y corresponde a perfiles en "V" muy abruptos, producto de la erosión de los depósitos volcanogénicos modernos (Gómez, 2001). Esta erosión rápida junto con el tipo de material de estos depósitos, producen continuos e importantes deslizamientos en masa de materiales de escombros hacia las quebradas.

La geología de las rocas de la cuenca influye en el tipo de drenaje: en general el drenaje es tipo dendrítico y en algunos sectores, donde se encuentran depósitos volcanogénicos o coladas de lavas, el drenaje es de tipo dendrítico sub- paralelo. La geomorfología del área se puede dividir en tres tipos o unidades según CONAF (1992): Cordillera Media, Cordillera Alta, Caja del río Coya.

3.3.1.2.2 PAISAJE

Dentro de las principales características del paisaje, se puede mencionar que existen tres cordones de cerros de mayor altura, éstos son: En zona Oeste se encuentra Cordón Los Lunes con orientación N20°E con alturas entre 1.400 a 2.050 m.s.n.m., este cordón está más definido topográficamente que los otros dos cordones; zona Este se encuentra una línea de cerros con alturas variables desde los 3.200 a 2.400 m.s.n.m.; zona Sureste se encuentra una línea de cerros con altura variable desde los 3.400 a 2.250 m.s.n.m., con alturas mayores que el Cordón Los Lunes.

3.3.1.3 HIDROGRAFÍA E HIDROLOGÍA

El río Coya, junto con el río Pangal, corresponde a un efluente importante de la hoya hidrográfica del río Cachapoal. Estos cursos de agua tienen características de esorrentía nival. El flujo de aguas en la cuenca en meses secos se debe a deshielo en las partes elevadas de la cuenca, como en las Nacientes del río Coya, quebrada Teniente, quebrada Olla Blanca, y en las partes más bajas se debe principalmente a aportes de agua subterránea, como en las quebradas El Sauce y Paula.

En meses húmedos, el régimen hídrico es de carácter mixto, es decir el aporte de agua para los cauces es principalmente la precipitación líquida y sólida. En las partes altas de la cuenca del río Coya, la precipitación es en forma de nieve y en las partes medias y bajas de la cuenca la precipitación es en forma líquida y sólida. Esto permite que el río Coya posea un caudal aproximadamente constante anual.

Las quebradas que drenan hacia el río Coya se pueden dividir según su periodicidad en: quebradas con agua permanente y en quebradas con agua estacional o esporádica. Las quebradas mayores como quebrada El Sauce y quebrada Alcaparrosa, entre otros, son clasificadas como permanentes.

El río Coya y quebrada Teniente son encausados por drenes subterráneos para evitar problemas de infiltración. El agua de la quebrada Teniente es encausada, para evitar infiltración en galerías en la mina, y es descartada en las nacientes del río Coya antes de la localidad de La Junta, en el lugar del Adit 55. El agua del río Coya es encausada bajo un túnel desde la torre Marga y es descartada un kilómetro aguas abajo.

Las características del río Coya son variables a lo largo de su curso y se pueden subdividir en 4 tramos según sus orientaciones y sus características (orientación, pendiente, ancho, profundidad y otros). Los tramos son: 1) Nacientes del río Coya, 2) río Coya oriental, 3) río Coya medio y 4) río Coya occidental.

El principal sistema hidrográfico de la región lo constituye el río Rapel, el cual a través de sus tributarios, colecta las aguas de la Cordillera de los Andes y de la parte norte de la Cordillera de la Costa. Este río se forma de la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

Las aguas superficiales encausadas en el área del proyecto, están extremadamente limitadas, se destaca el río Coya como el único curso de agua en régimen permanente. La red de quebradas tiene un régimen esporádico y en la actualidad, con la excepción de la quebrada La Frena, todos estos cursos están secos.

El relleno lahárico (Hauser, 1990) presenta una permeabilidad muy baja y errática debido a su naturaleza geológica como depósito macizo, formado por una mezcla de fragmentos rocosos heterométricos y heterocomposicionales (con dominio de variedades andesíticas y basálticas) angulosas a subangulosas, resistentes, compactadas e impermeables.

La hoya hidrográfica del río Coya, está compuesta por las siguientes quebradas principales y subcuencas de Norte a Sur: quebrada Teniente orientación N60E; quebrada Olla Blanca nace a altura de Olla Blanca y tiene una pendiente del 18,6% hacia el SW; quebrada Sapos dirección NS, cerca de Caletones con pendiente 13,0% hacia el S; quebrada Colorada en zona de Colón con pendiente de 16,0% hacia el SSW; quebrada El Durazno al Oeste del Cerro El Durazno y con una pendiente promedio de 28,8% hacia el NW; quebrada Barahona drena al tranque del mismo nombre y pendiente 10,8% hacia el Sur; quebrada Alcaparrosa dirección E-W y pendiente 13,8% hacia el Oeste; quebrada El Sauce dirección NS, al Oeste de Lomas Largas y pendiente 10,8%, hacia el S.

Otras quebradas, como quebrada Diablo, quebrada. Matadero, quebrada Agua Dulce, quebrada Mala Pasada y quebrada Tres, son importantes ya que aportan agua durante todo el año y son de longitud considerable. Algunas de estas quebradas son consideradas como fuentes de disponibilidad de agua potable para las instalaciones industriales de El Teniente. Las cuencas importantes que limitan con la zona de estudio: Estero Codegua: dirección EW, perteneciente a la hoya del río Maipo, desemboca al Sur de la angostura de Paine, hacia el Norte de la zona estudiada; Estero Clonqui orientación N60°E, desemboca en el río Cachapoal, a 5 (Km) aguas arriba del pueblo de Coya. La Figura N° 3.6 muestra las principales quebradas y ríos de la Cuenca del río Coya.

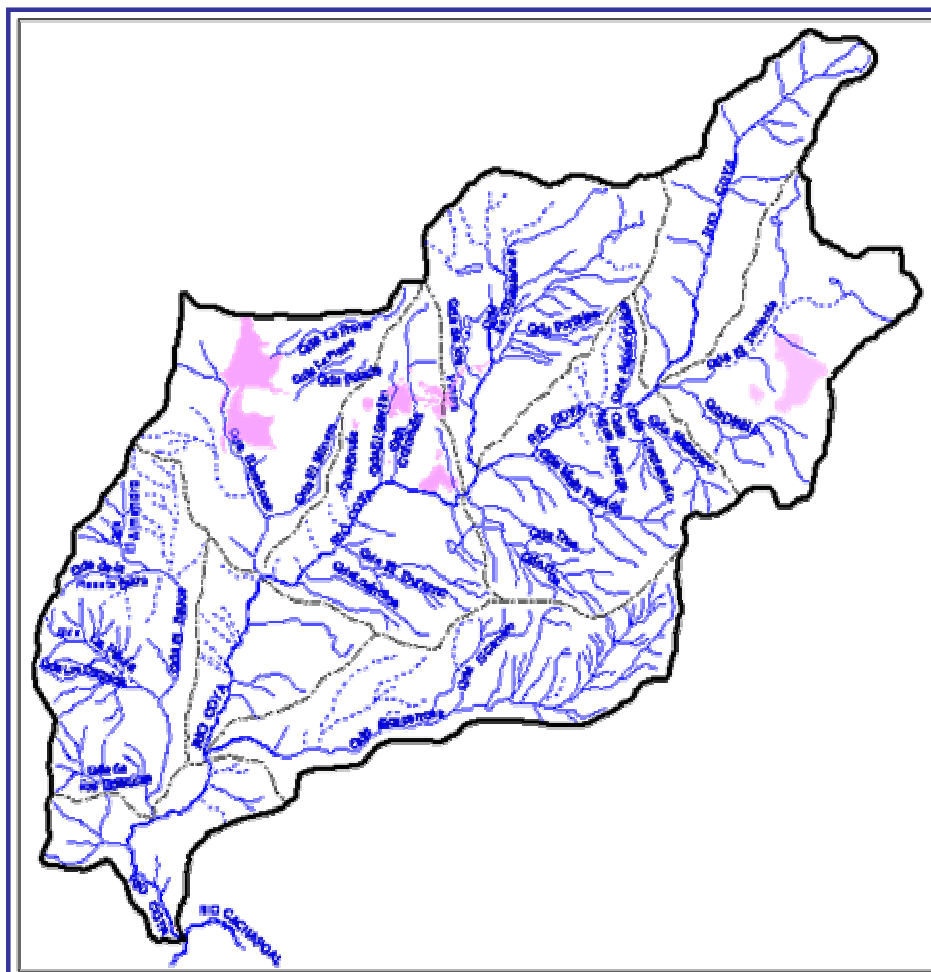


Figura Nº 3.6 Ríos y Quebradas de la Cuenca del Río Coya (Codelco, 2005).

La División El Teniente, se ubica en la hoya hidrográfica del río Cachapoal perteneciente a la cuenca del mismo nombre. El río Cachapoal en confluencia con el río Coya, tiene un caudal natural medio del orden de 76 (m^3/s). Presenta una sub-cuenca denominada río Coya, la que será descrita por la proximidad a la zona de emplazamiento del proyecto.

La hoya hidrográfica del río Cachapoal está conformada por los ríos Cachapoal, Pangal, Coya y Claro, de éstos los dos primeros tienen sus nacientes en la Cordillera de Los Andes, mientras que los dos últimos tienen

nacimiento precordillerano, dándole un carácter nivoglacial a los primeros y nivopluvial a los segundos.

El río Coya nace en las altas cumbres de la cadena de cerros que separa la subcuenca del río Coya de la subcuenca río Blanco, afluente del Pangal. En su recorrido recibe como afluente al río Teniente y transita por las quebradas Mala Pasada, Sapos, Caletones, Coloradas, Gavilán y Alcaparrosa, para desembocar al río Cachapoal.

La cuenca es el área de tributación del río Coya, que presenta una longitud de 33, 5 (Km) con un orden de magnitud 5, de gran importancia en el aporte de caudales. En el período de invierno, el caudal del río Coya es de 980 (l/s), para el verano 155 (l/s) y para periodos de deshielo (octubre –marzo) puede alcanzar magnitudes de 1.500 (l/s).

El río Cachapoal esta flanqueado por cordones montañosos especialmente en la ribera sur del río, donde los cerros presentan alturas de 3.287 (m). En la ladera Norte, donde se asienta la fundición, el macizo rocoso alcanza altitudes menores, siendo 2.000 (m) la altura media de la planicie inclinada.

3.3.1.4 SUELO

Los suelos de la Cuenca del río Coya, se insertan en el grupo de los Suelos Pardos Forestales, que presentan su desarrollo “in situ” sobre roca volcánica, caracterizándose por textura fina estructurada, espesor variable y alta capacidad de retención de agua. En la parte alta y media predominan los suelos del tipo litosoles y fluviales. En la parte baja se presentan los fluviosoles eutricos, cambiosoles eutricos, luviosoles órticos y vertisoles pélicos.

El área cercana a Barahona presenta restricciones climáticas para uso forestal, corresponde a un sector de forestaciones con Acacio y Ciprés. Los principales problemas para el crecimiento de las especies son el viento y la acción de la nieve como factores naturales y la presencia de minerales pesados (cobre y hierro) en el suelo como factor antrópico.

La proporción de los diferentes uso de suelos más importantes, en la zona circundante a la fundición, corresponden al 62% de las 120.000 hectáreas, a “suelo tipo rocoso”, sin posibilidades de uso agrícola o de asentamientos humanos. Un 18% (22.000 hectáreas) son suelos de tipo forestal poco denso (cobertura boscosa menor al 60% del suelo) y un 19% a suelo forestal denso (con cobertura forestal superior al 60% del suelo). No existen en la zona, suelos agrícolas de riesgo, ni zonas urbanas con población mayor a 5.000 habitantes.

3.3.1.5 DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN

En la vegetación de los valles prevalecen hoy las especies introducidas: álamos, pinos insignes, eucaliptos, nogales, castaños, zarzamoras y sauces. En aquellos puntos cordilleranos en que hay vegetación autóctona como las laderas de umbría, puede encontrarse robles, quillayes, boldos, peumos, litre, lingues y canelos; mientras en las laderas de solana se pueden encontrar espinos o “Acacia caven” (CONAF, 2004).

La zona de estudio corresponde al tipo “estepa alto-andina de la Cordillera de Santiago” (Gajardo, 1994). Por la naturaleza del relieve montañoso, de carácter muy abrupto, su distribución es discontinua, tomando en ciertos lugares el aspecto de un desierto de altura. En las especies predomina la fisonomía xerófita, con arbustos y hierbas pulvinadas y gramíneas de crecimiento en mechón.

La Tabla N° 3.2 y Tabla N° 3.3 (continuación), exponen un Registro Regional Vegetacional realizado por personal de CONAF en la VI Región el año 2004. Se aprecia la distribución de las especies en zona cercanas al proyecto.

3.3.1.6 DISTRIBUCIÓN DE LA FAUNA

La fauna está ausente en la zona de estudio (Ver Tabla N° 3.4). La mayor riqueza se encuentra en el sector naciente de la quebrada Barahona, al menos tres especies de aves habitan en este sitio: *canastero* (ave endémica de Chile), *chincol* y el *aguilucho* que usa el sitio como posadero. En los roqueríos se detecta la presencia de fecas de roedores, se cree que podría ser el *degú*, especie típica de ambientes xerofíticos.

Es posible encontrar conejos y zorros. Este último ha sido visto en la zona industrial de la fundición (Ver Figura N° 3.7), incluso se ha fotografiado un panal de abejas¹ en la misma zona (Ver Figura N° 3.8).



Figura N° 3.7 Ejemplar de Zorro (*Pseudolopex* sp.) encontrado en la Fundición (Semanario Fundición, 2002).

¹ Mayores Antecedentes e investigaciones respecto a las abejas en cuanto a fisiología, evolución y comportamiento, visitar el sitio <<http://www.ciencia.cl/CienciaAIDia/volumen2/número2/articulos/articulo5.htm>>.

En el sector del curso medio, la fauna es muy escasa. Debido a la destrucción de la vegetación, la estructura trófica de la comunidad se encuentra muy simplificada. No se encuentran evidencias de mamíferos y reptiles. Se observan especies de aves: aves “*dormilona*” y una carnívora-generalista, “*tiuque*”. No existen registros de aves frugívoras ni granívoras.



Figura N° 3.8 Panal de Abejas (*Apis mellifera*) encontrado en Fundición Caletones (Semanaario Fundación, 2002).

Tabla N° 3.2 Registro Vegetacional de la VI Región.

Especie	Nombre Común	Familia	Distribución	Distribución en Área de Estudio
<i>Anemona decapetala</i>	Centella	Ranunculaceae	RM a X	Río Cipreses
<i>Aristeguietia salvia</i>	Salvia macho	Asteraceae	IV a VII	Cahuil a Boyeruca
<i>Austrocedrus chilensis</i>	Ciprés de la Cordillera (P)	(*)	V a X	(*)
<i>Azara celastrina</i>	Lilén	Flacourtiaceae	IV a VIII	Marchigüe
<i>Azara dentata</i>	Corcolén blanco	Flacourtiaceae	RM a X	Pangal, Río Cipreses
<i>Azara petiolaris</i>	Maquicillo	Flacourtiaceae	IV a VII	Río Cipreses
<i>Azara serrata</i>	Corcolén	Flacourtiaceae	V a X	(*)
<i>Baccharis concava</i>	Vautro	Asteraceae	IV a VIII	Marchigüe
<i>Baccharis linearis</i>	Romerillo	Asteraceae	III a X	Orillas río Cachapoal
<i>Beilschmiedia berteroaana</i>	Belloto del Sur (P)	(*)	VI a VII	(*)
<i>Calceolaria arachnoidea</i>	Capachito morado	Scrophulariaceae	IV a VIII	Río Cipreses
<i>Calceolaria corymbosa</i>	Capachito	Scrophulariaceae	V a X	Marchigüe
<i>Calceolaria purpurea</i>	Capachito rojo	Scrophulariaceae	V y VI	Pangal
<i>Citronella mucronata</i>	Huillipatagua (R)	(*)	IV a IX	(*)
<i>Colletia espinosa</i>	Crucero	Rhamnaceae	V a X	Río Cipreses
<i>Colletia hystrix</i>	Junco rojo	Rhamnaceae	RM a VIII	(*)
<i>Colletia ulicina</i>	Junco amarillo	Rhamnaceae	VI a VII	(*)
<i>Conanthera bifolia</i>	Viudita	Tecophyllaceae	IV a VII	Marchigüe
<i>Conanthera campanulata</i>	Viudita	Tecophyllaceae	IV a VII	Marchigüe
<i>Conanthera parvula</i>	Viudita	Tecophyllaceae	IV a VII	Marchigüe
<i>Cortaderia ridiuscula</i>	Cola de zorro	Poaceae	III a VII	Orillas río Cachapoal
<i>Dasyphyllum excelsum</i>	Tayú (P)	(*)	V a VII	(*)
<i>Discaria serratifolia</i>	Chacay	Rhamnaceae	IV a VIII	Río Cipreses, Altos del Cantilana
<i>Ephedra chilensis</i>	Pingo pingo	Ephedraceae	I a XII	Pangal, Río Cipreses
<i>Escallonia illinita</i>	Barraco, ñipa	Escalloniaceae	IV a VIII	Orillas río Cachapoal
<i>Escallonia pulverulenta</i>	Corontillo	Escalloniaceae	IV a X	Tanumé
<i>Escallonia revoluta</i>	Lun	Escalloniaceae	IV a X	Coya a Pangal
<i>Escallonia rubra</i>	Ñipa roja	Escalloniaceae	IV a XII	Marchigüe, Cocalán

(*) Sin Información disponible, (P) especie en peligro; (R) especie rara.

Fuente: CONAF VI Región, 2004.

Tabla N° 3.3 Registro Vegetacional de la VI Región (Continuación)

Especie	Nombre Común	Familia	Distribución	Distribución Área Estudio
<i>Fabiana imbricata</i>	Pichi romero	Solanaceae	IV a XII	Río Cipreses
<i>Gochnatia foliolosa</i>	Mira Mira	Asteraceae	IV a VII	Sauzal, Peumo a Coltauco
<i>Guindilia trinervis</i>	Guindilla	Sapindaceae	V a VII	Río Cipreses
<i>Hypochaeris scorzonerae</i>	Hierba del chancho	Asteraceae	IV a VII	Sauzal, Tanumé
<i>Laretia acaulis</i>	Llaretilla (P)	(*)	III a IX	Caletones
<i>Lobelia excelsa</i>	Tabaco del diablo	Lobeliaceae	IV a VII	Marchigüe
<i>Lobelia tupa</i>	Tupa	Lobeliaceae	V a X	Orillas río Cachapoal
<i>Luma apiculata</i>	Arrayán, palo colorado	Myrtaceae	IV a XI	Cocalán, Pangal, Tanumé
<i>Luma chequen</i>	Arrayán blanco	Myrtaceae	IV a X	Tanumé, Pangal, Marchigüe
<i>Maytenus chubutensis</i>	Maitén del Chubut	(*)	RM a IX	(*)
<i>Menonvillea linearis</i>	Alhelí silvestre	Brassicaceae	IV a X	Pichilemu
<i>Monnina angustifolia</i>	Monina	No definida	(*)	(*)
<i>Myrceugenia colchaguensis</i>	Arrayán de colchagua (R)	Myrtaceae	V a VII y IX	(*)
<i>Myrceugenia correaefolia</i>	Petrillo (R)	Myrtaceae	IV a VII	Cocalán, Tanumé
<i>Myrceugenia exsucca</i>	Petra	Myrtaceae	IV a X	Los cristales, Tanumé
<i>Myrceugenia lanceolata</i>	Arrayanclo	Myrtaceae	IV a VIII	Orillas río Cachapoal
<i>Myrceugenia obtusa</i>	Rarán	Myrtaceae	IV a IX	Cocalán, Tanumé
<i>Myrceugenia rufa</i>	Hitigu, Arrayán de Hoja Roja (R)	Myrtaceae	IV a VI	Bucalemu a Boyeruca
<i>Nothofagus dombeyi</i>	Coigüe	Fagaceae	VI a XI	Huemul alto
<i>Nothofagus glauca</i>	Hualo, roble maulino (P)	Fagaceae	VI a VIII	Cocalán
<i>Nothofagus macrocarpa</i>	Hualle, roble de Santiago	Fagaceae	V a VI	Altos Cantillana, Loncha
<i>Oziroë biflora</i>	Lágrima de la Virgen	Hyacinthaceae	I a IX	Pichilemu
<i>Persea meyeniana</i>	Lingue del Norte (P)	(*)	V a VIII	(*)
<i>Podanthus mitiqui</i>	Mitique	Asteraceae	II a VII	Cahuil a Boyeruca
<i>Porlieria chilensis</i>	Guayacán (P)	(*)	IV a VI y RM	(*)
<i>Salpiglossis sinuata</i>	Palo amargo	Solanaceae	IV a IX	Río Cipreses
<i>Solenomelus pedunculatus</i>	Maicillo	Iridaceae	IV a VIII	Río Cipreses
<i>Sphacele chamaedryoides</i>	Alhuelahuén	Lamiaceae	V a X	Cahuil a Ciruelos
<i>Sphacele salviae</i>	Salvia blanca	Lamiaceae	IV a RM	(*)
<i>Teucrium bicolor</i>	Oreganillo	Lamiaceae	IV a IX	Orillas río Cachapoal
<i>Trevoa quinquinervia</i>	Tralhuén	Rhamnaceae	IV a VIII	Marchigüe
<i>Trichopetalum plumosum</i>	Flor de la plumilla	Antericeae	IV a IX	Marchigüe
<i>Viviania marifolia</i>	Te de burro	Vivianaceae	IV a VI	Río Cipreses

(*) Sin Información disponible, (P) especie en peligro; (R) especie rara.

Fuente: CONAF VI Región, 2004.

El sector antes mencionado, se observa fuertemente afectado por las emisiones de la chimenea. A ello se agrega, que el curso de agua está particularmente sulfatado, debido a infiltraciones en el tranque de Relaves y el polvo que es emitido desde el mismo sector.

Estas circunstancias, provocan que la capa superficial del suelo esté muy compacta y conformada por este polvillo. Precisamente en este sector, CONAF, lleva a cabo un plan de recuperación del área afectada mediante plantaciones de especies exóticas y nativas, resistentes a las emanaciones de Caletones.

La quebrada de La Flaca o del Río, se encuentra menos alterada que la quebrada Barahona. La presencia de ganado doméstico, caballos y vacunos, hace suponer la existencia de especies de plantas forrajeras que podrían sostener a especies de mamíferos herbívoros nativos (roedores) e introducidos como conejos y liebres. En este sector se aprecian aves granívoras como el “platero” y el “chincol” y especies carnívoras como el “aguilucho” y “águila” (Codelco, 2005).

La Figura N° 3.9 y Figura N° 3.10 muestran ejemplares de dos especies de aves fotografiados en primavera el año 2004 en la fundición. La primera es la garza cuca², considerada una especie rara en Chile, tiene una importante colonia en el tranque Carén, ubicado en la hacienda ecológica Los Cobres de Loncha de división El Teniente. *"Debido a la inundación de algunos árboles se ha creado el hábitat ideal para establecer una colonia de nidificación que es utilizada año a año"*, explica Benito González, ornitólogo y especialista en manejo de fauna.

²Información disponible en <<http://www.codelco.com/desarrollo/35/agenda35.asp>>.

Los últimos registros (2003) indican que existen al menos 17 nidos activos en el tranque Carén, lo que la convierte en la colonia más importante de garzas cuca de Chile central.

La garza cuca (*Ardea cocoi*) es una de las seis especies de garzas que habitan esteros, ríos, lagunas y lagos de la zona central de Chile. Su distribución en Sudamérica va desde Panamá hasta Chile, excluyendo la zona cordillerana de los Andes. En el país, se encuentra desde los Valles de la Primera Región hasta los Humedales de la XII Región.

Además, es la garza de mayor tamaño que habita el neotrópico, puede alcanzar entre los 95 hasta los 127 (cm) y sus colores característicos (cabeza negra, dorso y alas grises) la hacen inconfundible de las otras garzas diurnas, generalmente de plumaje blanco. Los hábitos solitarios de la garza cuca se rompen en época reproductiva, cuando se reúne en colonias para nidificar.



Figura N° 3.9 Registro fotográfico de la Garza Cuca (*Ardea cocoi*) encontrado en Fundición Caletones (Semanaario Fundición, 2002).



Figura N° 3.10 Registro fotográfico de una Golondrina Chilena (*Tachycineta meyeri*) encontrado en un tubo de la Fundición Caletones (Semanario Fundición, 2002).

La golondrina chilena³, es una especie abundante cuya zona de distribución abarca desde el extremo sur hasta Atacama, y desde la zona costera hasta la precordillera. En la zona de Magallanes es ave migratoria de verano. Una característica de esta ave es que se encuentra muy a gusto viviendo en las ciudades o en zonas pobladas, y anidando en aleros y techumbres de casas o agujeros de muros.

Normalmente tiene dos posturas durante el año, en los meses de septiembre y diciembre; y en ocasiones hasta una tercera en febrero. El nido, forrado con plumas, es generalmente de difícil acceso por lo estrecho de la entrada. La nidada tiene de 3 a 5 huevos de color blanco, de tamaño 19 x 14 (mm) aproximadamente.

La Tabla N° 3.4 señala un Registro de Fauna existente en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

³ Información disponible en <<http://www.avesdechile.cl/053htm>>.

Tabla N° 3.4 Registro faunístico de la VI Región

Especie	Nombre Común	Familia	Distribución	Distribución Zona Estudio
<i>Pseudolopex sp.</i>	Zorro	Canidae	I a XII	Quebrada Barahona
<i>Lepus ouropeas</i>	Liebre	Leporidae	III a XII	Pangal, Cipreses, Quebrada, Codegua
<i>Gryctolagus cuniculus</i>	Conejo	Leporidae	III a XII	Quebrada Codegua
<i>Octodon degu</i>	Degú	Octodontidae	III a VII	Pangal, Quebrada Barahona
<i>Milvago chimango chimango</i>	Tiuque	Falconidae	III a VIII	Quebrada Barahona y Codegua
<i>Buteo polysoma</i>	Aguilucho	Accipitridae	I a XII	Quebrada Barahona y Codegua
<i>Geranoaetus melanoleucos</i>	Águila	Accipitridae	I a XII	Codegua
<i>Muscisaxicola albilora</i>	Dormilona de Ceja Blanca	Tyranniidae	V a XII	Codegua
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona Chica	Tyranniidae	I a XII	Quebrada Barahona
<i>Asthenes humicola humicola</i>	Canastero	Furnariidae	III a VII	Quebrada Naciente de Barahona
<i>Phrygilus alaudinus</i>	Platero	Emberizidae	III a X	Sector alto Codegua
<i>Zonotrichia capensis</i>	Chincol	Emberizidae	III a XI	Quebrada Naciente
<i>Ardea cocoi</i>	Garza Cuca	Ardeidae	II a XII	Carén, Caletones
<i>Tachycineta meyeni</i>	Golondrina Chilena	Hirundinidae	III a XII	Carén, Caletones, Pangal
<i>Apis mellifera</i>	Abeja de miel	(*)	I a XII	Pangal, Marchigüe

(*) Sin Información

Fuente: Información Recopilada de los sitios Aves de Chile, en línea <<http://www.avesdechile.cl/053htm>> y <http://conama.cl/certificación/1142/articles-29099_recurso_11.pdf>.

3.3.2 ÁREA TEMÁTICA SOCIAL INSTITUCIONAL

3.3.2.1 DIVISIÓN ADMINISTRATIVA DEL TERRITORIO

La VI región, se extiende entre los paralelos 33°51' y los 35°01' de latitud Sur y desde el meridiano 70°02' de longitud Oeste hasta el Océano Pacífico. Por lo tanto, su límite Oeste es el Océano Pacífico; el Este es la frontera con Argentina (en la Cordillera de los Andes), al Norte se enfrenta con la V Región de Valparaíso y con la Región Metropolitana de Santiago, finalmente al Sur con la VII Región del Maule.

Se encuentra dividida en 3 provincias y 33 comunas:

a) *Cachapoal*: Es la provincia de mayor superficie, 7.384 (Km)², la de mayor población (542.901 habitantes) y también la con el mayor número de comunas, 17 en total: Las Cabras, Coltauco, Doñihue, Rancagua, Graneros, Mostazal, Codegua, Machalí, Olivar, Requínoa, Rengo, Malloa, Quinta de Tilcoco, Coinco, San Vicente, Peumo y Pichidegua.

b) *Colchagua*: Es la segunda provincia en superficie (5.678 Km²), población (196.566 habitantes) y cantidad de comunas (10 en total). Éstas son las siguientes: San Fernando, Chimbarongo, Placilla, Nancagua, Chépica, Santa Cruz, Palmilla, Peralillo, Lolol y Pumanque.

c) *Cardenal Caro*: Esta provincia tiene 3.324,8 (Km)² de extensión y en ella viven 41.160 personas. Está formada por 6 comunas: Navidad, Litueche, La Estrella, Pichilemu, Marchihue y Paredones.

La capital de la región es Rancagua, que se encuentra en la Provincia de Cachapoal. La comuna de Machalí, específicamente el sector de Coya Población (a 20 Km de Rancagua) y la Reserva Nacional Los Cipreses, constituyen los lugares más cercanos e importantes, en términos de ambientales, para el proyecto estudiado (Ver Figura N° 3.11).

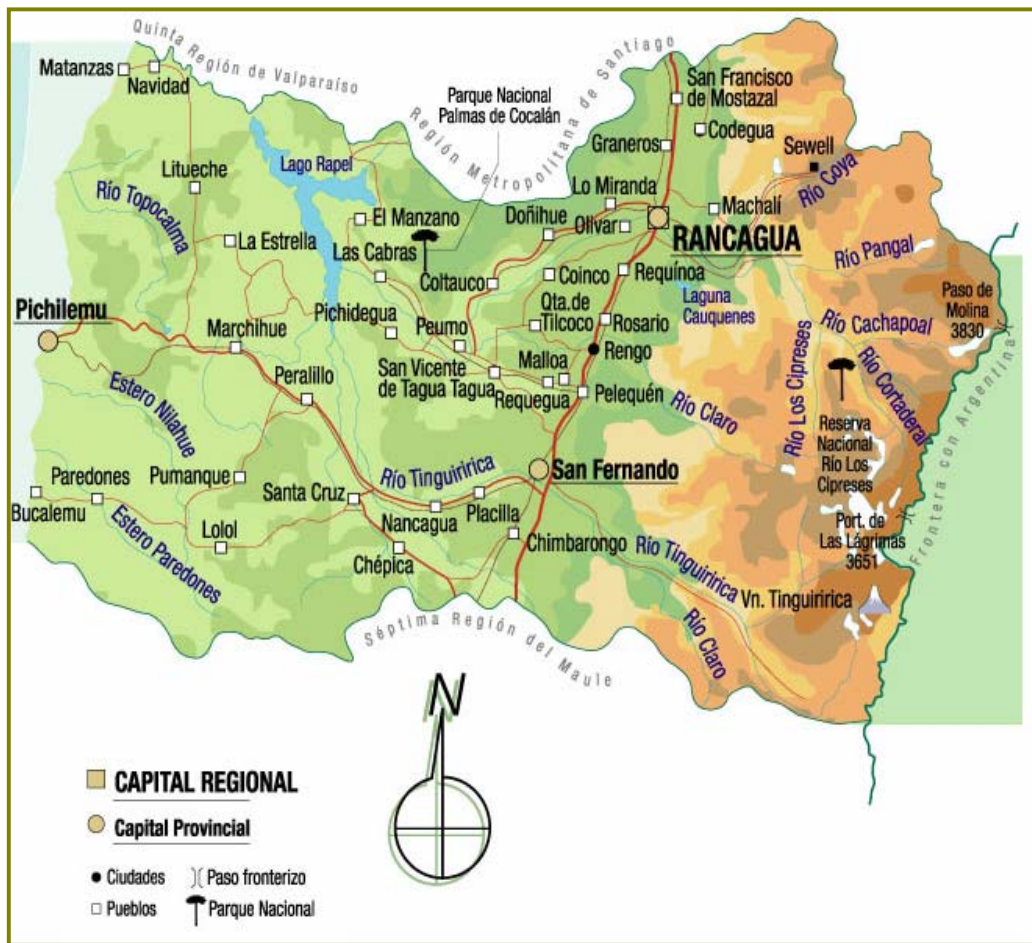


Figura N° 3.11 Sexta Región del Libertador Bernardo O'Higgins (Turistel, 2005).

3.3.2.2 PATRIMONIO NATURAL

3.3.2.2.1 RESERVA NACIONAL RÍO CIPRESES

Esta Reserva se creó en el año 1985, con el objeto de incorporar al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) los recursos bióticos de la cuenca del río Cypreses. En su totalidad, esta reserva tiene una extensión de 37.000 hectáreas, de las cuales 1.200 se encuentran comprendidas en la zona saturada (D.S. N° 80). La reserva se ubica en un

valle cuyo fondo varía desde 1.200 a 1.700 m.s.n.m., en tanto incluye cumbres que alcanzan desde 3.000 a 4.900 m.s.n.m. como el Volcán Palomo.

La red hídrica de la reserva se forma por afluentes del río Cachapoal, que confluyen a él desde el Sur, siendo el río más importante el río de Los Cipreses, cuya cuenca representa el 80% de la Reserva. Además, existen numerosos esteros. En cuanto a la fauna, entre los mamíferos, se destaca el guanaco, el zorro culpeo y la vizcacha. Entre las aves, se destaca el loro trichahue y, en las altas cumbres, el cóndor y el águila. En lagunas y cursos de agua, se encuentran el caiquén de Magallanes y el pato correntino.

3.3.2.2.2 RESERVA NACIONAL ROBLERÍA DEL COBRE

En la hacienda ecológica se encuentra la Roblería del Cobre de Loncha, de 5.870 hectáreas de extensión. En 1996 fue declarada reserva nacional por la presencia de especies endémicas de flora y fauna catalogadas como vulnerables, como peumo, boldo, quillay, hualo y palma chilena. Además de diversas variedades de aves como codornices, diucas, loicas, tordos, zorzales, perdices, peucos, queltehues, cóndores. También conejos, coipos y zorros culpeos.

La Roblería forma parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado y es administrada por CONAF. Codelco mantiene un exitoso convenio ambiental con CONAF desde 1985. El último convenio se firmó en el año 2000 y está vigente hasta 2005.

La Hacienda Ecológica Los Cobres de Loncha está incorporada en el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca Carén de la Corporación Nacional Forestal, CONAF (Ver Figura N° 3.12).



Figura N° 3.12 Hacienda Ecológica de Loncha (CONAF, 2005).

3.3.2.3 DEMOGRAFÍA

3.3.2.3.1 DISTRIBUCIÓN Y TAMAÑO DE LA POBLACIÓN

La VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, presenta una superficie total de 16.387 (Km)² según el Instituto Nacional de Estadística. De acuerdo a los censos realizados, el año 1992 la región presentó un valor de 696.369 habitantes y el año 2002 un total de 780.627 habitantes, presentándose una variación intercensal del 12,1%. Estas cifras, arrojan además que 392.335 habitantes son hombres y 388.292 habitantes son mujeres. La Figura N° 3.13 muestra la población urbana y rural de la VI Región, según datos obtenidos del INE, para el censo del año 2002.

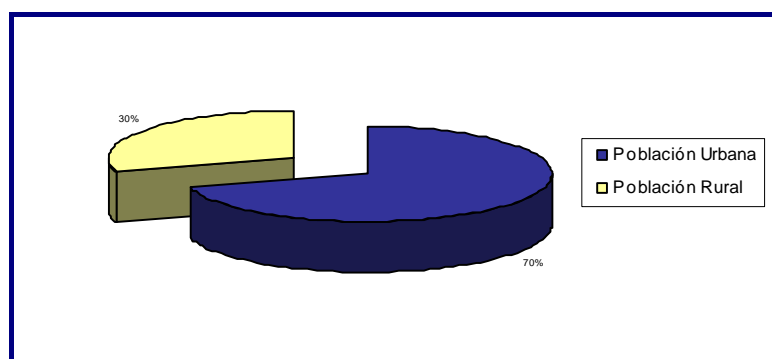


Figura N° 3.13 Distribución de la población de la VI Región (INE, 2002).

La comuna estudiada, Machalí, presenta una superficie de 2.586 (Km²), con 24.152 habitantes registrados en el Censo de 1992 y 28.628 habitantes en el Censo 2002. La variación intercensal representa un 18,5%. La población urbana representa el 93,8% mientras que la población rural alcanza la cifra del 6,2%.

La Figura N° 3.14 señala antecedentes poblacionales del censo de 1992, en cuanto a número total de habitantes según clasificación urbana, rural y por sexo, de la comuna de Machalí.

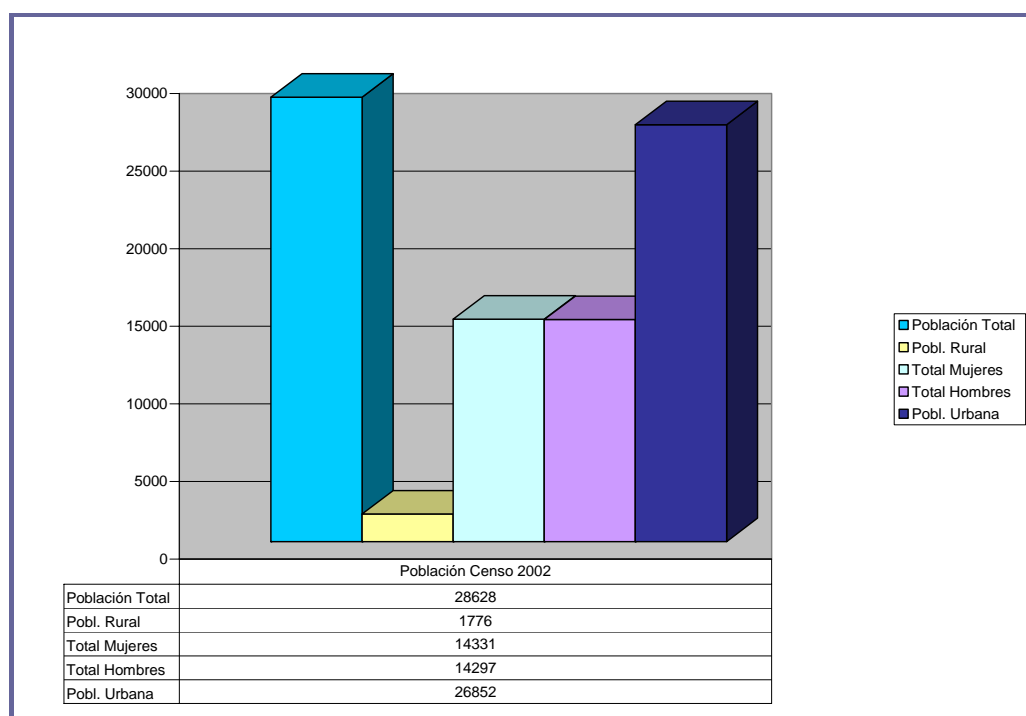


Figura N° 3.14 Distribución poblacional de la Comuna de Machalí (INE, 2002).

3.3.2.4 SOCIOLOGÍA

3.3.2.4.1 CONTEXTO HISTÓRICO DIVISIÓN EL TENIENTE

El yacimiento El Teniente, posee una larga trayectoria, fue explotado primitivamente desde los tiempos prehispánicos por indígenas de la zona en el siglo XVI y recibe su nombre de un teniente fugitivo que en el año 1760 redescubrió el yacimiento cuando intentaba pasar hacia Argentina (Baros, 2000).

En 1904 se constituyó la Sociedad The Rancagua Mines, que a fines de ese mismo año pasó a llamarse “*Braden Copper Company*” cuando el norteamericano Williams Braden inició su explotación oficial y le otorgó al yacimiento su verdadero perfil de empresa seria y planificada.

Posteriormente, en el año 1905 la Compañía de Cobre Braden se convirtió en subsidiaria de *Kennecott Copper Corporation* de Estados Unidos, con el capital inicial de la compañía, se realizó una serie de inversiones como la instalación de una planta concentradora, construcción de un camino para transportar cobre, una central hidroeléctrica y la edificación de habitaciones para los mineros.

A fines de 1906 la industria entrega como producto de venta “cobre mate”, una roca medianamente molida, algo húmeda y sin fundir. Ese mismo año comenzaron los trabajos de construcción de una fundición, la que más tarde recibiría el nombre de *Fundición Caletones*, de esta manera se emprende la exportación de mineral obtenido industrialmente (Baros, 2000). En la Figura N° 3.15 se aprecia un registro fotográfico del primer embarque de cobre de El Teniente.

Con el fin de disminuir los trayectos entre el Valle de Rancagua y el Mineral (aproximadamente 35 Km), surge la necesidad de construir un ferrocarril que permita acortar las distancias existentes. En el año 1911 el

ferrocarril ya comenzaba su funcionamiento, lo haría por más de medio siglo, uniendo además de el Valle de Rancagua y el Mineral, Campamentos de mineros como Sewell, Fortuna, El Teniente, Coya, Pangal Caletones y Parrón. En la Figura N° 3.16 se muestra el Ferrocarril para el Transporte de Cobre.



Figura N° 3.15 Primer Embarque de Cobre de El Teniente (Baros, 2000).



Figura N° 3.16 Ferrocarril utilizado en El Teniente (Baros, 2000).

En 1919 estalló la primera huelga por el despido masivo de 1.200 obreros, debido al incremento masivo del cobre que saturaba el mercado como secuela de la Primera Guerra Mundial. Para evitar mayores conflictos, Braden Copper Company acordó indemnizar a operarios y obreros mineros, la medida acordada no tuvo el menor interés por parte de los trabajadores despedidos, quienes desataron un movimiento huelguista de grandes proporciones. Ese año, se constituye formalmente, el *Sindicato Industrial de Rancagua*.

En abril de 1967 el Estado de Chile adquirió el 51% de las acciones constituyéndose la “Sociedad Minera El Teniente”. En julio de 1971 se aprobó la nacionalización de la gran minería, bajo el gobierno de Salvador Allende, pasando así el Mineral El Teniente a manos del estado (Ángel, 2003). En enero de 1976, se crea la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO–Chile) y El Teniente pasa a formar parte de ésta.

3.3.2.4.2 PATRÓN CULTURAL

Existen diferentes actividades y focos de atracción, dependiendo del lugar geográfico. Costumbres religiosas y zonas con valor cultural resaltan en la zona: *La costa y sus balnearios* (Matanza, Pichilemu y Bucalemu); *Lago Rapel* connotado centro turístico-deportivo (natación, windsurf, esquí acuático y velerismo); *Hacienda de Sanchina* (construcción de adobe y tejas de principios del siglo XIX), actualmente aloja a la Escuela de Coya y puede visitarse (el estado de conservación es regular); *Valle Central* con haciendas y fiestas tradicionales (rodeos, domaduras de potros, carreras a la chilena, trilla); *Visitas guiadas* a las principales viñas de la región “ruta del vino”; *La Cordillera*, con una serie de termas, como las de Cauquenes (a 30 Km de Rancagua) o las Termas del Flaco (en la comuna de San Fernando, a 77 Km de la carretera Panamericana).

También son atractivas las fiestas religiosas populares en varios pueblos, como en el de Santa Rosa de Pelequén (Ver Figura N° 3.13) en honor a Santa Rosa de Lima y Graneros a la Virgen de la Inmaculada Concepción. Por sus artesanías, son conocidos Chimbarongo pueblo que trabaja principalmente el mimbre (Ver Figura N° 3.14), Pelequén (piedra rosada, escobas y madera), Marchigüe (sombrosos y chupallas hechos en totora), Cuesta de la Lajuela (sombrosos en paja de trigo) y Doñihue (coloridas mantas huasas fabricadas en hilo y seda).



Figura N° 3.17 Iglesia Santa Rosa de Pelequén (Turistel, 2003).



Figura N° 3.18 Mimbres de Chimbarongo (Turistel, 2003).

3.3.2.5 INFLUENCIA ANTROPOGÉNICA HISTÓRICA

La marcada influencia por parte de hombre y en especial de la minería en la zona de estudio, genera un sin número de desechos que alteran considerablemente el sector.

a) Tranques de Relaves: Existen cuatro tranques de relaves en la cuenca del río Coya, todos correspondientes a depósitos antiguos y tres tranques de relaves fuera de la cuenca del río Coya, los cuales corresponden a Carén, Cauquenes y Colihues. Actualmente El Teniente utiliza el tranque de relaves Carén localizado a 86,3 (Km) de la planta concentradora.

La depositación de los tres tranques más antiguos comenzó desde 1906 junto con la operación del concentrador de Sewell e inicio de la explotación industrial del yacimiento. Durante 15 años los relaves se depositaron en la cuenca del río Coya y en la confluencia de éste con la quebrada Teniente. Los tranques formados hasta 1917 fueron cuatro: Tranque Agua Dulce, Tranque Arenas, Tranque Marga, Tranque Barahona.

En la cuenca del río Coya se encuentran depósitos de Rises en diferentes partes. La mayoría de estos depósitos son botaderos antiguos que surgieron espontáneamente durante la operación del yacimiento El Teniente, debido a la necesidad de acopiar materiales residuales producto de la actividad industrial y humana de la minería.

b) Residuos Industriales Sólidos: En la cuenca del río Coya se encuentran depósitos de Rises en diferentes partes. La mayoría de estos depósitos son botaderos antiguos que surgieron espontáneamente durante la operación del yacimiento El Teniente, debido a la necesidad de acopiar materiales residuales producto de la actividad industrial y humana de la minería.

Existen 31 botaderos en la cuenca del río Coya, los cuales fueron caracterizados para el Plan de Cierre y Abandono Botaderos Antiguos en 1998 (Gescam, 2002). Los materiales residuales corresponden principalmente a fierros, maderas, escombros y gomas. Se reconocen dos sitios con presencia de contaminantes (Cu y As) y siete sitios con problemas de inestabilidad de taludes.

Desde el año 2002 los residuos sólidos son acopiados en un moderno Centro de Manejo de Rises (CMRIS) que opera de acuerdo con la política ambiental de la división y con altos estándares internacionales. Aquí se clasifican los Rises según peligrosidad y comerciabilidad. Los botaderos pueden alterar la calidad y química de las aguas indirectamente, ya que los materiales, tales como fierro, compuestos con arsénico, etc. se pueden lixiviar en forma de líquidos percolados y producir aguas con altas concentraciones de metales (arsénico y cobre).

La escoria proveniente de la fundición de Caletones se considera como un residuo sólido de mayor importancia. Estas son depositadas en la ladera Norte del río Coya, frente a las instalaciones de Caletones. Los depósitos de escoria forman terrazas continuas, las que son rodadas por el paso del agua.

La escoria es posible encontrarla más allá del río Cachapoal, hasta 45 (Km) distante de su fuente (CIMM, 1993) y la granulometría disminuye con la distancia de la fuente. Las pruebas de lixiviación realizadas en las escorias determinan que a pH cercano a 5 la escoria puede lixiviar fierro y cobre.

c) Residuos Industriales Líquidos: Los residuos industriales líquidos corresponden a aguas que han sido utilizadas tanto en procesos industriales como humanos (aguas servidas). Estos líquidos son descartados a los cauces superficiales, por lo que deben ser tratados y analizados para que las

concentraciones de elementos no sobrepasen los límites permitidos para cuerpos fluviales (Decreto Ley N° 90).

Actualmente existen 20 puntos de emisión de riles a cauces superficiales, los cuales son monitoreados trimestralmente para conocer la calidad química de las aguas intervenidas. Los cursos de agua afectados por los riles corresponden al río Coya, quebrada Sapos, quebrada Caletones, quebrada Tes, quebrada Colorada, quebrada Gavilán y quebrada Barahona.

d) Calidad de las Aguas: La superintendencia de Recurso Hídricos de la División del Teniente maneja varios puntos de muestreo en la zona de estudio. Estos puntos están básicamente destinados para controlar la calidad química de los cauces superficiales de la cuenca del río Coya (23 puntos) y del río Cachapoal (6 puntos).

El muestreo sistemático trimestral comenzó en el año 1998 y continúa hasta la fecha. Los principales parámetros estudiados corresponden a los establecidos por la norma de riego (NCh 1.333) y los puntos de mediciones se localizan en la parte noreste de la cuenca, abarcando principalmente la cabecera del río Coya, quebrada Portales, quebrada Diablo, quebrada Matadero, quebrada Gavilán y quebrada Colorada, entre otros.

Los análisis químicos de las muestras tomadas por el Departamento de Recursos Hídricos son mandados al laboratorio químico de El Teniente ubicado en las instalaciones de Colón Bajo.

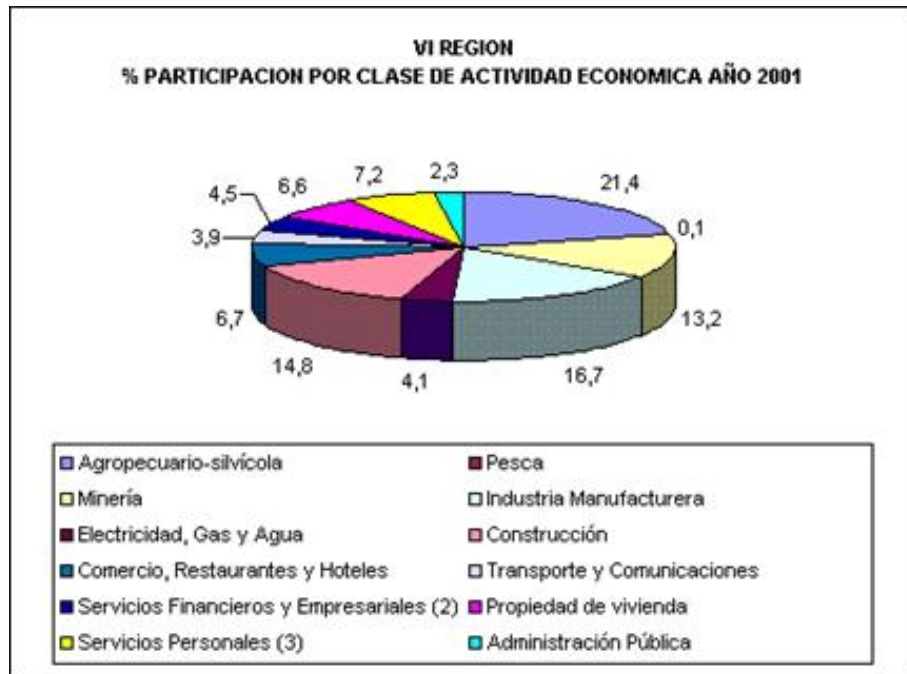
Se encuentran cinco quebradas importantes que no presentan influencia directa de fuentes antropogénicas, las cuales poseen detalle sobre la calidad química. Estas son: quebrada Diablo, quebrada Matadero, quebrada Mala Pasada, río Coya antes Adit 55 y quebrada La Frena.

3.3.3 ÁREA TEMÁTICA PRODUCCIÓN

La mayoría de sus insumos provienen de la actividad agrícola y forestal. Especialmente importante es la producción frutícola de manzanas, uvas, peras y carozos. A ello se suma la producción minera, sobre todo de cobre. Este metal, además de plata, oro y molibdeno, se produce en la mina El Teniente.

Carece de puertos y pesca industrial. Tampoco cuenta con aeródromos comerciales, solo civiles en Rancagua, San Fernando, Santa Cruz, Pichilemu y otros menores de carácter privado.

De acuerdo a la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) el porcentaje de participación por clase de actividad económica al año 2001 de la Minería fue de 13,2%, expuesto en la Figura N° 3.15 correspondiente a la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins.



(2) Incluye servicios financieros, seguros, arriendo de inmuebles y servicios prestados a empresas del rubro; (3) incluye educación y salud pública, privada y otros servicios.

Figura N° 3.19 Participación de la VI Región por Actividad Económica (ODEPA y Banco Central, 2001).

3.3.3.1 MINERÍA

La minería es una de las actividades predominantes en la comuna, como se mencionó con anterioridad, la minería se adjudica el 13,2% en cuanto a participación por clase de actividad económica, según datos de ODEPA 2001. Rubro que en el último tiempo ha crecido considerablemente debido al alto precio del cobre.

El producto interno bruto (PIB) que aportó la minería de la VI Región al año 2001 fueron 302,49 MUS\$. El año pasado, se registró un récord histórico en cuanto a utilidades para la empresa estatal del cobre, Codelco aportó un total de 3.300 MUS\$, esto se explica por el aumento de la producción y la bonanza de precios, con un aumento en la demanda del cobre del 5,6%.

Datos obtenidos del Informe Anual de Cochilco, señalan que el aporte de División El Teniente el año 2004 fue de 700 MUS\$. La Figura N° 3.16 expone la tasa de variación del PIB de la VI Región, respecto a la situación nacional. Se estima que durante el año 2005 el aumento de la producción nacional de cobre, será del 8% para el cobre mina, con una demanda del orden del 5,3% respecto al valor actual. Proyecciones más estáticas para el 2006, indican que el consumo mundial sólo aumentaría un 4,6% respecto al valor actual (Cochilco, 2005).

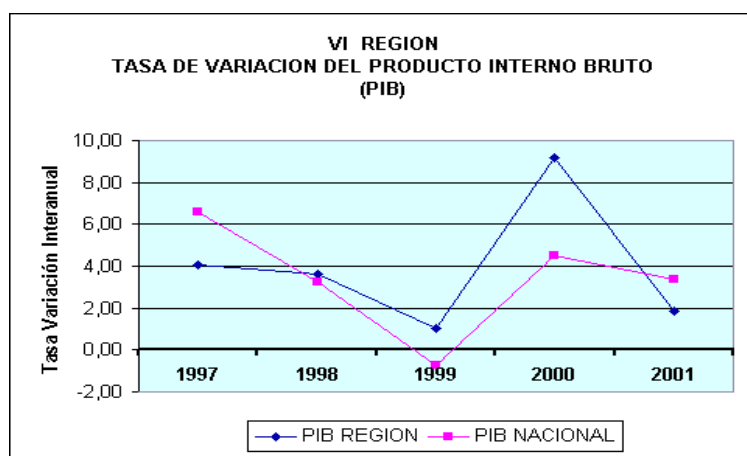


Figura N° 3.20 Variación PIB en VI Región (ODEPA, 2001).

3.3.3.2 AGROPECUARIO-SILVÍCOLA

El sector agropecuario silvícola, ocupa el 21,4% en cuanto a participación por clase actividades económicas al año 2001. El aporte que entregó al 2001 (ODEPA, 2001) en términos del PIB fue de 448,4 MUS\$, por lo tanto, se transforma en la actividad económica más importante de la región.

La estructura del uso del suelo en la agricultura de la VI Región (ODEPA, 2001) indica que el uso intensivo (cultivos anuales, frutales y viñas, hortalizas y flores, barbechos) alcanza un total de 265.588 (há), mientras que el uso extensivo (praderas mejoradas, praderas naturales) del mismo es de 413.437 (há). Para el caso del uso forestal, la cifra alcanza 85.399 (há), en tanto la clasificación otros suelo (incluido el uso forestal) se adjudica un total de 224.738 (há).

Los cultivos anuales con mayor superficie sembrada, son el maíz (65.070 há) y el trigo (32.900 há). Luego se encuentra el aporte del poroto y el arroz, con 3.620 (há) y 2.330 (há) respectivamente (ODEPA, 2004; INE, 2004, IANSA, 2004 y CCT, 2004). En tanto, las plantaciones forestales por especie, se destacó el pino radiata (64,9%), eucalipto (30,3%) y álamo (1,5%), otras especies alcanzaron un 3,3%.

Los principales productos de exportación para la región son las uvas frescas (168.700 kUS\$ FOB⁴), carne porcina (157.397 kUS\$ FOB), manzanas frescas (154.731 kUS\$) y vino con denominación de origen (88.565 kUS\$ FOB).

La exportación silvoagropecuaria por clase participación el año 2004, fue de 42,9% para el sector industrial (agrícolas, pecuarias e industriales) y de un 57,1% para el sector primario (agrícolas 75,9%, pecuarias 23,3% e industriales 0,8%) según ODEPA y el Servicio Nacional de Aduanas.

⁴ FOB (Free on Board).

3.3.3.3 AVÍCOLAS Y GANADERÍA

La región de O'Higgins, se destaca también por la producción de huevos, tanto para el consumo como para la incubación. Al año 2003, la producción total de huevos alcanza un total de 246.394.000 unidades (Ver Figura N° 3.17).

La existencia de animales por especie, registrado en la VI Región, según antecedentes del Instituto Nacional de Estadísticas, señala que el número de porcinos alcanza la cifra de 782.014 cabezas, siguiéndole los ovinos con un total de 181.835, bovinos 132.827 y finalmente, equinos con 28.931 cabezas.

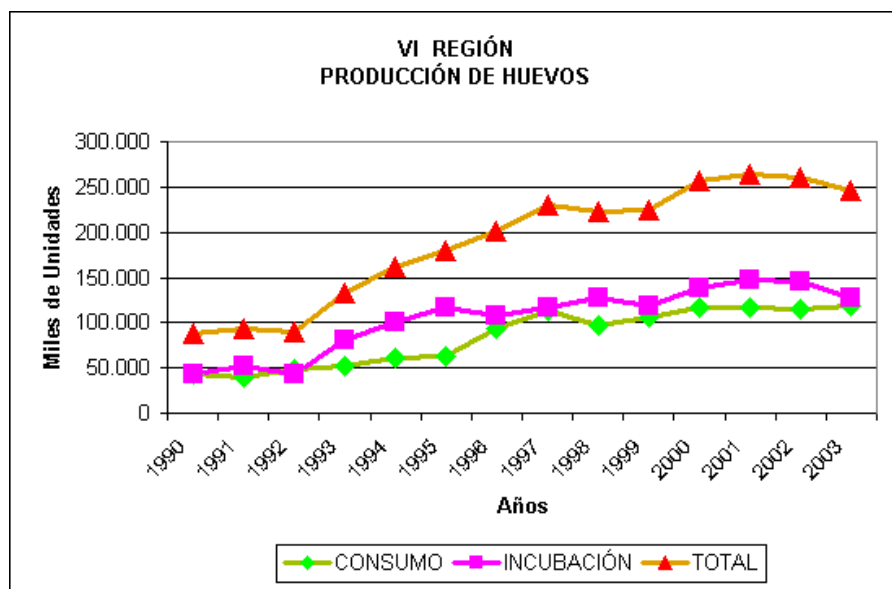


Figura N° 3.21 Producción Regional de Huevos (ODEPA, 2003).

3.4 LEGISLACIÓN APLICABLE AL PROYECTO

El registro de la legislación y las regulaciones que le competen, constituye una parte importante en lo que se refiere a la evaluación ambiental de la Planta de Sulfato Férrico.

Se pretende identificar la legislación, regulaciones o autorizaciones chilenas que están referidas con los impactos ambientales de los productos y procesos del proyecto. Del mismo modo, identificar la normativa interna que esta directamente referida al proyecto.

El registro de la legislación, permitirá conocer en forma detallada las normas ambientales que sean de aplicación al proyecto y cumplir de esta forma, con los requisitos instaurados tanto por la autoridad ambiental como por normativa interna de la empresa comprometida con la mejora continua para elevar los estándares de calidad ambiental.

Los siguientes puntos, señalan la legislación ambiental asociada directamente al proyecto Planta Generadora de Sulfato Férrico Biohidrometalúrgico en Fundición Caletones.

3.4.1 LEYES GENERALES

Norma	Año Vigencia	Repartición	Título
Ley Nº 19.300	1994	Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES)	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente
D.S. Nº 30	1997	Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES)	Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
Art. 71, 72, 73	1997	Ministerio de Salud (MINSAL)	Código Sanitario
D.S. Nº 57 ^(a)	2003	Ministerio de Salud (MINSAL)	Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales básicas en los lugares de Trabajo.
D.S. Nº 72	1985	Ministerio de Minería	Reglamento de Seguridad Minero.

^(a) Modifica al D.S. Nº 201 D.O. 05/07/2001, al D.S. Nº 594 D.O. 15/09/1999 y al D.S. Nº 745 D.O. 08/06/1993.

3.4.2 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Norma	Año Vigencia	Repartición	Título
D.S. N° 59	1998	Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES)	Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable PM10.
D.S. N° 146 D.O. 18/07/1998 ^(b)	1998	Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES)	Norma de Emisión de Ruidos Molestos generados por Fuentes Fijas.
Resolución N° 1215	1978	Ministerio de Salud (MINSAL)	Normas Sanitarias Mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica
D.S. N° 185	1992	Ministerio de Minería	Reglamenta el funcionamiento de establecimientos emisores de SO ₂ , PM10 y arsénico en territorio de la República

^(b) Modifica al D.S. N° 286 D.O. 18/07/1984 del MINSAL.

3.4.3 RESIDUOS LÍQUIDOS

Norma	Año Vigencia	Repartición	Título o Materia
Ley N° 3.133 ^(c)	1916	Ministerio de Obras Públicas (MOP)	Requisito de neutralización o depuración por un sistema adecuado y permanente, de los residuos líquidos industriales, mineros o metalúrgicos, previa descarga.
Decreto N° 351 ^(c)	1993	Ministerio de Obras Públicas (MOP)	Reglamento de Ley N° 3.133 sobre eliminación de residuos industriales.

^(c) Considerada por ingerencia que posee el SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios), que en la práctica es proclive a solicitar certificados de acreditación de descargas de RILES, a proyectos que no tienen contemplado bajo ningún motivo dichas descargas.

3.4.4 RESIDUOS SÓLIDOS

Norma	Año Vigencia	Repartición	Título o Materia
D.S. N° 57 ^(a)	2003	Ministerio de Salud (MINSAL)	Prescribe la necesidad de autorización sanitaria para la acumulación, tratamiento y disposición final de RISES dentro del predio industrial.
Art. N° 79 ,80 y 83 Código Sanitario (Permiso de disposición de RISES)	1997	Ministerio de Salud (MINSAL)	Autorización para acumulación, selección, industrialización, comercialización o disposición final de residuos o desperdicios (art. 79 y 80). Patente para instalación, construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de residuos (art. 83).
D.S. N° 685	1992	Ministerio de Relaciones Exteriores	Convenio de Basilea que establece el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos
D.F.L. N° 1	1989	Ministerio de Salud (MINSAL)	Determina materias que requieren autorización sanitaria expresa (Disposición de residuos).

^(a) Modifica al D.S. N° 201 D.O. 05/07/2001, al D.S. N° 594 D.O. 15/09/1999 y al D.S. N° 745 D.O. 08/06/1993.

3.4.5 OTRAS REGULACIONES Y PERMISOS

Norma	Año Vigencia	Repartición	Título o Materia
Transporte de Mercancías Peligrosas.	Actualización de Enmienda N° 24-96 del IMDG	Naciones Unidas	Listado de Clasificación de Sustancias Peligrosas y Características (N°S.93.VIII.1) ISBN 92-1-339014-9; ISSN 1014-57696.
Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG)	Actualización de Enmienda N° 24-96 del IMDG	Internacional	Transporte Sustancias Peligrosas (N°S.93.VIII.1) ISBN-92-801-3503-1.
Código de Regulaciones Federales –Transportes		Internacional	Transportes-Título 49-B, Capítulo I-C, Partes 173 -179.
Code of Federal Regulations – Department of Transportation	1994	U.S.A	Transportes-Título 49 CFR, Partes 100 to 199.
Hazardous Materials Regulations of the Department of Transportation (DOT)	1986	U.S.A	Bureau of Explosives, Tariff BOE-6000 F.
Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, aprobado como Reglamento de la República por D.S.(M) N° 746 D.O.24/10/1978	Vigente en Chile desde 1978	Ministerio de Defensa Nacional (Subsecretaría de Marina)	Disposiciones Internacionales sobre Transportes de Sustancias Peligrosas
D.S. N° 75 ^(d) (Permiso de Edificación)	2001	Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Título V, Art. 1).
N.D. N° 83		División El Teniente (Norma Divisional)	Normativa Ambiental Interna para Contratos con Terceros.

^(d) Modifica al D.S. N° 47/1992 y al D.S. N° 89/1998.

4. CAPÍTULO “EVALUACIÓN”

4.1 APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS DE TRABAJO

4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES

Para identificar los aspectos ambientales asociados a los procesos productivos que inciden directamente sobre el proyecto, se utilizó listas de chequeo prediseñadas, antes descritas; y los aspectos ambientales relevantes asociados a la planta fueron analizados con el método F.I.E.R.L.P. desarrollado preliminarmente (Urrutia, 2001). Primero se revisó las actuales matrices ambientales elaboradas en base a los aspectos de cada proceso de la fundición, luego se seleccionó aquellos Aspectos de Mayor Incidencia sobre el proyecto y con notabilidad en cuanto a indicadores (Ver Figura N° 4.1).

Para estimar los aspectos antes mencionados, se planificó un grupo de evaluación constituido por la autora de este trabajo y el ingeniero asesor del proyecto, luego se aplicó el método propuesto a cada aspecto relevante asignando valores numéricos según criterios presentados en la Figura N° 4.2 que destaca la matriz sugerida.

Para examinar los aspectos vinculados a la planta, se insertó ésta en su contexto único, es decir, incorporándola a los procesos de la fundición (detallados en el Capítulo 1) con los que está directamente ligada. De esta forma, se pretende llevar a cabo un análisis más efectivo, pues el funcionamiento de la Planta Productora de Sulfato Férrico depende de algunos de los productos (en este caso desechos) de cada proceso. La matriz o lista de chequeo utilizada, se aplicó a los procesos generales:

- 1.- Convertidor Pierce-Smith y Convertidor Teniente.
- 2.- Proyecto estudiado, Planta Generadora de Sulfato Férrico.
- 3.- Horno de Limpieza de Escorias.
- 4.- Planta de Limpieza de Gases.
- 5.- Planta de Tratamiento de Efluentes.

Proceso	Aspecto ambiental	Impacto Ambiental Asociado
Convertidor Pierce-Smith (CPS)	Emisión de anhídrido sulfuroso	Contaminación atmosférica
	Generación Residuos refractarios	Contaminación suelo
	Generación de RISES	Contaminación suelo
	Uso energía eléctrica	Disminución recursos naturales
	Uso combustible	Sobre el Recurso no renovable
Convertidor Teniente (CT)	Emisión anhídrido sulfuroso	Contaminación atmosférica
	Generación residuos refractarios	Contaminación suelo
	Generación de RISES	Contaminación suelo
	Uso energía eléctrica	Disminución recurso naturales
	Uso combustible	Recurso naturales no renovables
Horno Limpieza Escoria (HLE)	Generación de escorias	Contaminación suelo y agua
	Disposición de escorias	Contaminación suelo y agua
	Generación residuos refractarios	Contaminación suelo
	Generación de RISES	Contaminación suelo
	Uso combustible	Recursos naturales no renovables
	Uso energía eléctrica	Disminución recurso naturales
Planta Limpieza Gases (PLG)	Generación de RIL en PLG 1	Contaminación agua
	Emisión SO ₂ y SO ₃ por chimenea	Contaminación atmosférica
	Generación de RIL en LIGA	Contaminación agua
	Uso combustibles	Recursos naturales no renovables
	Derrame ácido sulfúrico	Contaminación suelo y agua
Planta Tratamiento Efluentes (PTE)	Uso combustible	Recursos naturales no renovables
	Emisión de arsénico y otros metales	Contaminación atmosférica
	Uso energía eléctrica	Disminución recurso naturales
	Generación arsénico	Contaminación atmosférica y suelo
	Producción de RIL	Contaminación agua
Planta Sulfato Férrico Resumen (PSF)	Derrame de ácido sulfúrico	Contaminación atmosférica y suelo
	Generación escoria lixiviada	Contaminación suelo y agua
	Producción de RIL biolixiviado	Contaminación suelo y agua
	Generación ruido	Contaminación atmosférica
	Disposición escoria lixiviada	Contaminación suelo y agua
	Generación material particulado	Contaminación atmosférica
	Licuefacción de pilas	Contaminación suelo y agua
	Volcamiento camión de escoria curada	Contaminación suelo
	Volcamiento camión de solución lixiviada	Contaminación suelo
	Uso combustibles	Recursos naturales no renovables
	Uso de agua	Disminución del recurso hídrico
	Uso de energía eléctrica	Disminución de los recursos naturales

Figura N° 4.1 Matriz de Resultados Identificación de Impactos por procesos (Elaboración propia).

Aspecto ambiental		Impacto Ambiental Asociado	F	I	E	R	P	L	(C)	(M)	(S)
Planta Generadora de Sulfato Férrico Biohidrometalúrgico	Generación de residuos industriales sólidos	Contaminación suelo	3	2	1	2	2	3	10	30	+ significancia baja
	Uso energía eléctrica	Disminución recurso naturales	4	3	2	2	2	3	12	48	++ significancia media
	Emisión de metales pesados	Contaminación atmosférica y suelo	2	2	1	2	2	3	10	20	+ significancia baja
	Producción de RIL lixiviado	Contaminación agua	4	3	3	2	2	3	13	52	++ significancia media
	Derrame de ácido sulfúrico	Contaminación atmosférica y suelo	2	3	1	2	2	3	11	22	+ significancia baja
	Generación escoria lixiviada	Contaminación suelo y agua	4	3	2	2	2	3	12	48	++ significancia media
	Producción de RIL biolixiviado	Contaminación suelo y agua	4	3	3	2	2	3	13	52	++ significancia media
	Generación ruido	Contaminación atmosférica	4	2	1	2	2	3	10	40	++ significancia media
	Ingestión e inhalación de sulfato férrico y/o sulfato ferroso	Contaminación suelo y agua. Disminución fuerza laboral	3	3	3	2	2	1	11	33	++ significancia media
	Alteración del terreno en formación de pilas	Contaminación atmosférica y olores	3	3	3	2	2	3	13	39	++ significancia media
	Infiltración de líquidos lixiviados/ biolixiviados	Contaminación agua y suelo	3	2	3	2	2	3	12	36	++ significancia media
	Disposición escoria lixiviada	Contaminación suelo y agua	3	2	2	2	2	3	11	33	++ significancia media
	Generación material particulado	Contaminación atmosférica	4	2	2	2	2	3	11	44	++ significancia media
	Licuefacción de pilas	Contaminación suelo y agua	3	3	3	3	2	3	14	42	++ significancia media
	Volcamiento camión de escoria curada/solución lixiviada	Contaminación suelo	2	3	2	2	2	3	12	24	+ significancia baja
Uso de combustible	Contaminación Atmosférica	4	3	3	2	2	3	13	52	++ significancia media	
Uso de agua	Disminución recurso hídrico	4	3	3	3	2	3	14	56	++ significancia media	

(F) frecuencia, (I) intensidad, (E) extensión, (R) reversibilidad, (P) percepción pública, (L) marco regulatorio. (C) consecuencia, (M) magnitud, (S) significancia.

Figura N° 4.2 Matriz de Resultados Método F.I.E.R.P.L. de Urrutia, 2001 (Elaboración Propia).

4.1.2 VALORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES

La dos últimas décadas se han caracterizado por la promulgación de leyes básicas sobre el medio ambiente a nivel mundial, como legislación específica sobre control de la contaminación atmosférica y del agua, gestión de residuos sólidos y peligrosos, protección de recursos y la recuperación de suelo y acuíferos.

Factores como la identificación de puntos de riesgo, descripción del medio afectado, predicción y estimación de impactos, selección de la alternativa de acción y forma de presentar la información recopilada; integran aquella gama de “Métodos de Valoración e Identificación de Impactos Ambientales” tales como Matrices de Interacción, Diagramas de Redes y Listas de Control (Canter, 2000).

La Matriz de Valoración Cualitativa, es un método sencillo desarrollado por Conesa 1997, su aplicación consigue dar un grado numérico a la importancia de un impacto determinado, focalizándose el grado de manifestación que éste representa en base a su caracterización completa. Se determina la Importancia del Impacto (I) sobre el medio valiéndose de la Ecuación 2.2 revisada en el Capítulo 2, para luego verificar el rango de Importancia del Impacto (Tabla Nº 2.2 del Capítulo 2).

La Figura Nº 4.3 señala la Valoración de Aspectos reconocidos para la Planta Generadora de Sulfato Férrico en todas sus etapas. El número encerrado entre paréntesis (de las primeras columnas), señala el valor total resultante de la aplicación de la fórmula.

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental Asociado	IN	EX	MO	PE	RE	SI	AC	EF	PR	MC	Resultado	Importancia	
Planta Generadora de Sulfato Férrico Biohidrometalúrgico	Generación de RISES	Contaminación suelo	2 (6)	1 (2)	4	1	1	1	4	1	4	25	Impacto irrelevante	
	Uso energía eléctrica	Disminución recursos naturales	4 (12)	2 (4)	2	4	2	1	4	4	3	40	Impacto moderado	
	Emisión de metales pesados	Contaminación atmosférica y suelo	1 (3)	2 (4)	4	2	1	1	1	4	1	4	25	Impacto irrelevante
	Producción de RIL lixiviado	Contaminación agua	2 (6)	2 (4)	4	2	1	1	1	4	1	4	28	Impacto moderado
	Derrame de ácido sulfúrico	Contaminación atmosférica y suelo	4 (12)	1 (2)	4	1	1	1	1	4	1	1	28	Impacto moderado
	Generación escoria lixiviada	Contaminación suelo y agua	2 (6)	1 (2)	4	2	1	1	4	4	2	2	28	Impacto moderado
	Producción de RIL biolixiviado	Contaminación suelo y agua	2 (6)	1 (2)	4	2	1	1	4	4	2	4	28	Impacto moderado
	Generación ruido	Contaminación atmosférica	2 (6)	2 (4)	4	2	1	4	1	1	2	1	26	Impacto moderado
	Disposición escoria lixiviada	Contaminación suelo y agua	2 (6)	1 (2)	4	1	1	1	4	4	3	4	30	Impacto moderado
	Generación material particulado	Contaminación atmosférica	1 (3)	2 (4)	4	2	1	1	4	4	2	2	27	Impacto moderado
	Licuefacción de pilas	Contaminación suelo y agua	4 (12)	2 (4)	4	2	1	1	1	1	1	1	28	Impacto moderado
	Volcamiento camión de escoria curada / solución lixiviada	Contaminación suelo	2 (6)	1 (2)	4	1	1	1	1	1	1	1	19	Impacto irrelevante
	Uso combustibles	Contaminación atmosférica	2 (6)	2 (4)	4	1	1	1	1	1	1	1	21	Impacto irrelevante
	Uso de agua	Disminución del recurso hídrico	1 (3)	2 (4)	2	4	4	1	4	4	3	4	33	Impacto moderado
	Ingestión e inhalación sulfato férrico y ferroso	Daños a la salud Disminución fuerza laboral	2 (6)	2 (4)	4	2	1	2	4	4	1	2	30	Impacto moderado
Infiltración de líquidos lixiviados/ biolixiviados	Contaminación suelo y agua	2 (6)	4 (8)	2	2	1	2	4	4	1	2	32	Impacto moderado	
Alteración del terreno en formación de pilas	Contaminación atmosférica y olores	4 (12)	4 (8)	2	4	2	2	1	4	1	2	38	Impacto moderado	

() Señala el resultado total, luego de aplicar la ecuación respectiva.

Figura N° 4.3 Resultados Valoración de Aspectos Ambientales de Conesa, 1997 (Elaboración Propia).

4.2 MEDIDAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es una herramienta de trabajo que estructura, planificación de actividades, responsabilidades, prácticas, procedimientos y recursos para obtener un mejoramiento continuo en las actividades de una empresa (Seoanez, 1999).

Los elementos de un SGA, definidos según la serie ISO 14.000 se visualizan como una pirámide: compromisos y política ambiental como base, metas y objetivos, programa de gestión integrado, evaluación periódica y finalmente mejoría constante del SGA (Cascio *et al.*, 1997).

De los cinco elementos principales asociados al Sistema de Gestión Ambiental que poseen incidencia en el mejoramiento continuo de una empresa, se obtendrá importantes recomendaciones respecto a los tópicos relacionados con el Proyecto de la Planta de Sulfato Férrico.

4.2.1 REQUISITOS LEGALES

El registro de la legislación y las regulaciones que le competen, constituye una parte importante en lo que se refiere a la evaluación ambiental de la Planta de Sulfato Férrico. Se pretende identificar la legislación, regulaciones o autorizaciones chilenas referidas a los impactos ambientales de los productos y procesos del proyecto.

4.2.1.1 REVISIÓN NORMATIVA SEGÚN S.E.I.A.

La verificación total de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, debe complementarse tanto con el artículo 10 (tipo de proyecto) y artículo 11 de la Ley N° 19.300 (Ver Figura N° 4.4). Además, un resumen del D.S N° 95/2001 (Ver Figura N° 4.5). Para enfrentar el problema de la contaminación, se dictó la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el Reglamento en D.S. N° 30/94, modificado en el D.S. N° 95 del año 2001, ambos

documentos ponen en práctica una serie de conceptos orientados a la protección del medio ambiente. Es una ley marco que un número breve de disposiciones contempla como uno de los principales componentes de la gestión ambiental, además de servir como referente y orientación a las demás instancias legales.

Letra	Proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias contempladas en las siguientes letras:	Afecta
(a)	Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos;	No
(b)	Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire;	No
(c)	Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos;	No
(d)	Localización próxima a población, recursos y áreas protegidas susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar;	No
(e)	Alteración significativa, en términos de magnitud o duración del valor paisajístico o turístico de una zona	No
(f)	Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.	No

Figura N° 4.4 Cuestionario Ingreso al S.E.I.A., según Artículo 11 de Ley N° 19.300.

<i>Proyecto o Actividad genera o presenta riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos que genera o produce.</i>		Afecta
Artículo 5	(a) Lo establecido en las normas primarias de calidad ambiental y de emisión vigentes. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las vigentes que se señalan en el artículo 7 del presente Reglamento.	No
	(b) La composición, peligrosidad, cantidad y concentración de los efluentes líquidos y de las emisiones a la atmósfera.	No
	(c) La frecuencia, duración y lugar de las descargas de efluentes líquidos y de emisiones a la atmósfera	No
	(d) La composición, peligrosidad y cantidad de residuos sólidos	No
	(e) La frecuencia, duración y lugar del manejo de residuos sólidos	No
	(f) la diferencia entre los niveles estimados de inmisión de ruido con proyecto o actividad y el nivel de ruido de fondo representativo y característico del entorno donde exista población humana permanente	No
	(g) Las formas de energía, radiación o vibraciones generadas por el proyecto o actividad	No
	(h) Los efectos de la combinación y/o interacción conocida de los contaminantes emitidos o generados por el proyecto o actividad	No
<i>Proyecto o Actividad genera o presenta efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua, aire.</i>		Afecta
Artículo 6	(a) Lo establecido en las normas secundarias de calidad ambiental y de emisión vigentes. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las vigentes que se señalan en el artículo 7 del presente Reglamento	No
	(b) La composición, peligrosidad, cantidad y concentración de los efluentes líquidos y de las emisiones a la atmósfera	No
	(c) la frecuencia, duración y lugar de las descargas de efluentes líquidos y de emisiones a la atmósfera	No
	(d) La composición, peligrosidad y cantidad de residuos sólidos	No
	(e) la frecuencia, duración y lugar del manejo de residuos sólidos	No
	(f) la diferencia entre los niveles estimados de inmisión de ruido con proyecto o actividad y el nivel de ruido de fondo representativo y característico del entorno donde se concentre fauna nativa asociada a hábitats de relevancia para su nidificación, reproducción o alimentación	No
	(g) las formas de energía, radiación o vibraciones generadas por el proyecto o actividad	No
	(h) Los efectos de la combinación y/o interacción conocida de los contaminantes emitidos y/o generados por el proyecto o actividad.	No
	(i) La relación entre las emisiones de los contaminantes generados por el proyecto o actividad y la calidad ambiental de los recursos naturales renovables	No
	(j) la capacidad de dilución, dispersión, autodepuración, asimilación y regeneración de los recursos naturales renovables presentes en el área de influencia del proyecto o actividad	No
	(k) la cantidad y superficie de vegetación nativa intervenida y/o explotada, así como su forma de intervención y/o explotación	No
	(l) La cantidad de fauna silvestre intervenida y/o explotada, así como su forma de intervención y/o explotación	No
	(m) El estado de conservación en que se encuentren especies de flora o de fauna a extraer, explotar, alterar o manejar, de acuerdo a lo indicado en los listados nacionales de especies en peligro de extinción, vulnerables, raras o insuficientemente conocidas	No
	(n) El volumen, caudal y/o superficie, según corresponda, de recursos hídricos a intervenir y/o explotar en: n.1. vegas y/o bofedales ubicados en las Regiones I y II, que pudieren ser afectadas por el ascenso o descenso de los niveles de aguas subterráneas; n.2. áreas o zonas de humedales que pudieren ser afectadas por el ascenso o descenso de los niveles de aguas subterráneas o superficiales; n.3. cuerpos de aguas subterráneas que contienen aguas milenarias y/o fósiles;	No
	(ñ) Las alteraciones que pueda generar sobre otros elementos naturales y/o artificiales del medio ambiente la introducción al territorio nacional de alguna especie de flora o de fauna; así como la introducción al territorio nacional	No
	(o) La superficie de suelo susceptible de perderse o degradarse por erosión	No
(p) La diversidad biológica presente en el área de influencia del proyecto o actividad	No	

Figura N° 4.5 Cuestionario de Admisión al S.E.I.A., según D.S. N° 95/2001.

4.2.1.2 REVISIÓN NORMATIVA GENERAL

El registro de la legislación permitirá conocer en forma detallada las normas ambientales que sean de aplicación al proyecto y cumplir de esta forma con los requisitos instaurados, tanto por la autoridad ambiental como por normativa interna de la empresa comprometida con la calida ambiental.

- Leyes Generales (Ver Capítulo 3, punto 3.4.1).
- Emisiones Atmosféricas (Ver Capítulo 3, punto 3.4.2).
- Residuos Líquidos (Ver Capítulo 3, punto 3.4.3).
- Residuos Sólidos (Ver Capítulo 3, punto 3.4.4).
- Otras Regulaciones y Permisos (Ver Capítulo 3, punto 3.4.5).

4.2.2 VERIFICACIÓN Y ACCIÓN CORRECTIVA

4.2.2.1 MONITOREO Y MEDICIÓN

Los planes de monitoreo y medición no deben estar exentos en los procedimientos para la vigilancia de impactos ambientales. Se debe tener un registro periódico de las mediciones, que sean necesarias, para tener un control de los diversos parámetros. Los resultados deben analizarse y usarse para determinar el cumplimiento de la normativa, lugares que requieran acciones correctivas y de mejoramiento. Para este tipo de proyecto las mediciones y monitoreo deben estar enfocados al área atmosférica, residuos sólidos, residuos líquidos, estado de las pilas (del terreno) y ruido producido.

4.2.2.1.1 MONITOREO ATMOSFÉRICO

El monitoreo debe realizarse en forma continua y estar enfocado en la calidad del aire respecto al *material particulado respirable* (PM10). Esta medición debe realizarse con mayor continuidad durante la etapa de formación de las pilas de lixiviación, debido a la remoción del terreno y el tránsito habitual

de camiones (transporte de ácido y escorias). La cantidad de gases emitidos por el proyecto, de acuerdo a antecedentes son mínimos, sin embargo, se recomienda la medición y análisis de concentraciones de arsénico, fierro y otros metales pesados que pudiesen ser emitidos durante el desarrollo del proyecto.

Para el proyecto analizado, se buscó la forma de calcular en forma aproximada la cantidad de material particulado derivado de la planta. Con los antecedentes propuestos para el proyecto, se aplicó una fórmula matemática, propuesta y aceptada por la EPA. La fórmula, mediante un factor de emisión y la aplicación de una fórmula estándar, logra estimar la cantidad de PM 10 en diferentes etapas de un proyecto determinado. Para el Cálculo del Factor de Emisión de Materiales de Descarte, se debe considerar los siguientes datos presentados en la Tabla N° 4.1.

Tabla N° 4.1 Información para Base de Cálculo de PM 10.

Datos Necesarios	Símbolos	Cantidad
Contenido Partículas Finas en Material de Descarte	s	3 %
Contenido Humedad en Material de Descarte	M	2 %
Efectividad Total en Reducción de Emisiones (humedecimiento de caminos)	ER	90 %
Rango de Actividad (horas de trabajo efectivo)	A	12 horas

Fuente: Laboratorio Metalúrgico Fundación Caletones y AP-42 (EPA, 2005).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2005) entrega Listados Estándares (Compilation of Air Pollutant Emission Factors) como los AP-42, para obtener factores de emisión y aplicar estos valores a expresiones matemáticas con el fin de predecir emisiones. La Ecuación 4.1 fue registrada para estimar el Factor de Emisión (fe) de PM 10 en (Kg/hora):

$$fe = \frac{0,45 * (s^{1,5})}{M^{1,4}} \quad 4.1$$

Donde:

s= contenido de partículas finas (%) en material de descarte.

M= contenido de humedad (%) en material de descarte.

Reemplazando los valores se obtiene el **Factor de Emisión (fe)** con un valor de **0,66**. Para alcanzar finalmente la cantidad de emisión máxima diaria de PM 10, se debe aplicar el factor encontrado a la Ecuación General 4.2, considerando que se realizan tres turnos de ocho horas diarias y dos de ellos operando por medio de camiones bulldozer para la formación de las Pilas de Lixiviación del Proyecto.

$$Emisión PM10 = A * fe * \left[1 - \left(\frac{ER}{100} \right) \right] \quad 4.2$$

A= rango de actividades (horas de trabajo efectivo).

fe= factor emisión de PM 10.

ER= efectividad total en reducción de emisiones (%).

Al aplicar los datos encontrados en la Ecuación 1.2, se registra un Máximo Diario de Emisión de Material Particulado (PM10) de: 19,1 (Kg/día).

4.2.2.1.2 MONITOREO DE RUIDO

La generación de ruidos corresponde principalmente a las actividades relacionadas con la preparación del terreno para la construcción de las pilas de lixiviación y piscinas de almacenamiento. La construcción de un galpón que será utilizado para protección de las pilas, instalación de oficinas y en un costado como bodega, es otro factor a considerar. Igualmente, se producirá ruido debido al tránsito de camiones que dotarán de ácido sulfúrico a la planta y el trabajo constante de bombas.

Para estimar el nivel de ruido (potencia sonora) durante el desarrollo del proyecto, se utilizó la expresión matemática que considera los niveles de potencia sonora de equipos de trabajo, faenas de construcción pertinentes y experiencia de operarios a cargo de obras similares.

La Tabla N° 4.2 resume los datos usados para el Cálculo de Potencia Sonora. Conjuntamente, serán considerados los efectos de la topografía, estructura del suelo, velocidad del viento, presión atmosférica y cantidad de horas por turno. Las fuentes sonoras estarán ubicadas en una superficie plana, por tanto, el error de los efectos de la topografía del lugar disminuyen.

Tabla N° 4.2 Información para Base de Cálculo de Potencia Sonora.

Parámetro	Nivel Sonoro dB (A)	Índice Asignado
Presión Sonora de Equipo Bulldozer	85	-
Presión Sonora de Circulación de camión de H ₂ SO ₄	70	-
Factor de Atenuación Sonora por viento (< 50 m)	1,0	-
Factor de Atenuación Sonora por suelo (< 50 m)	3,3	-
Índice de Directividad	-	3
Presión Sonora del Depósito de Escorias	50	

Fuente: Información recopilada de la DIA "Depósito para las Escorias de Descarte de la Fundición" efectuada por Consultora CADE-IDEPE (P-1657) el año 2000.

La Ecuación 4.3, permitirá establecer los Niveles de Ruido Estimados para el Desarrollo del Proyecto:

$$PS = N_w - 20\log(R) + DI_\theta - \sum_{i=1}^5 Ae_i - 10\log(4\pi) \quad 4.3$$

Donde:

PS = Potencia sonora.

N_w = Nivel de potencia sonora de la fuente.

R = Distancia a la que se determina el impacto.

DI_θ = Índice de directividad.

Ae_i = Factor de atenuación sonora.

La Tabla N° 4.3 señala los Resultados Obtenidos en los Niveles de Ruido Estimados para la Planta de Sulfato Férrico.

Tabla N° 4.3 Niveles de Ruido en Proyecto

Distancia (metros)	Equipos de Trabajo							
	Camión Bulldozer		Motor de Bomba		Depósito de Escoria		Circulación de Camiones	
	dB (A) [*]	dB (A) ^{**}	dB (A) [*]	dB (A) ^{**}	dB (A) [*]	dB (A) ^{**}	dB (A) [*]	dB (A) ^{**}
50	44	33	43	32	9	0	29	18
40	45	34	44	33	11	0	31	20
30	48	37	47	36	13	2	33	22
20	52	40	51	40	17	6	37	26
10	58	46	57	46	23	12	43	32
5	64	52	63	52	29	18	49	38
Promedio	51,8	40,3	50,8	39,8	17	3,6	37	26

(*) Utilizando el Factor de Atenuación por Viento, (**) Utilizando el Factor de Atenuación por Suelo.

4.2.2.1.3 MONITOREO METEOROLÓGICO

El monitoreo continuo de variables meteorológicas es fundamental en este tipo de proyecto, por lo tanto, es recomendable conocer periódicamente los valores de las variables meteorológicas. Actualmente, División El Teniente cuenta con una Red de Monitoreo con seis estaciones que registran datos de velocidad y dirección del viento, niveles de anhídrido sulfuroso, material particulado respirable y arsénico total en la atmósfera. Además, cuenta con la

estación ubicada en Colón Bajo (Planta Concentradora) que registra los datos mencionados previamente y valores de Temperatura, Humedad, Presión Atmosférica, Radiación Solar, Evaporación, entre otros datos (Ver Tabla N° 4.4).

Tabla N° 4.4 Parámetros Climáticos Zona de Estudio.

Parámetro	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Prom
Temperatura máx (°C)	23,04	22,34	22,27	17,7	17,18	13,79	12,18	12,97	16,6	14,54	16,78	10,82	16,7
Temperatura mín (°C)	12,09	12,38	11,42	6,32	5,39	3,32	2,46	2,39	-8,15	5,09	7,33	20,66	6,72
Temperatura med (°C)	7,7	7,1	6,4	3,5	1,4	-0,2	-0,7	-0,4	0,9	3,0	5,3	7,1	3,4
Horas frío (hrs)	399	433	425	614	702	1404	2107	2809	3511	4163	4703	5142	7119
Radiación solar (W/m ²)	2,91	2,52	2,40	1,53	1,3	0,9	0,92	1,64	1,97	2,22	2,68	3,18	2,01
Humedad (%)	14,09	13,38	14,45	26,5	57,8	72,98	86,88	47,61	24,43	18,9	10,47	11,79	32,27
Precipitación Acumulada (mm)	24,80	24,80	30,87	52,53	69,38	73,8	(*)	(*)	13,46	18,15	36,96	45,7	32,8
Presión Atmosférica (mbar)	808,1	807,48	806,8	807,7	807,4	808,07	806,5	807,1	807,4	807,7	806,8	808	740,1
Nieve Acumulada (m)	3,9	3,14	2,68	2,31	3,25	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	3,056
Heladas (días)	17,7	18		29	31	30	31	31	30	30	25,3	20,2	32,1
Velocidad Viento Máx (m/s)	6,72	6,66	6,76	7,59	6,8	10,02	10,39	8,30	7,84	7,57	7,69	7,11	7,79

(*) Sin Información

Fuente: Estación de Monitoreo de Colón, Depto. Meteorológico año 2004.

4.2.2.1.4 MONITOREO DE SUELOS

Este monitoreo se recomienda, por las características del terreno y porque zonas relativamente cercanas al proyecto corresponden a Suelos Protegidos, Forestales (Reservas Naturales), Agrícolas de Riego y Suelo Urbano. Analizando los antecedentes, ningún tipo de suelo importante será

alterado, sin embargo, si el alcance del proyecto aumenta será necesario verificar la incidencia sobre estos suelos (Ver Tabla N° 4.5).

Tabla N° 4.5 Distribución Usos de Suelos VI Región.

Tipo de Suelo	Zona Declarada Saturada (hás)	Resto en Dominio de Estudio (hás)	Total en Dominio de Estudio (hás)
Sucios y Rocosos	75.604	118.656	194.260
Forestal (Menor al 60%)	22.169 (18,3%)	14.306	36.475 (10,2%)
Forestal (Mayor 60%)	23.378 (19,3)	39.132	62.510 (17%)
Agrícola de Riego	0	64.087	64.087 (17,8%)
Urbano Total	300 (< 1%)	1.700	2000 (0,6%)
Total Hectáreas	121.451	237.881	359.332


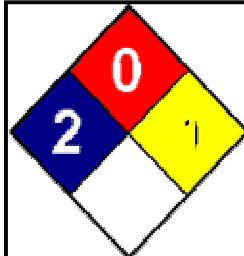
Fuente: Ingenieros Consultores CICA, 2003.

4.2.3 HOJAS DE SEGURIDAD ACTUALIZADAS

La documentación de cualquier producto químico, ya sea en la *Hoja de Datos de Seguridad para Transporte* como en la *Hoja de Datos de Seguridad de Productos Químicos*, debe ser fidedigna y estar constantemente actualizada.

Para los compuestos estudiados, de acuerdo a información recopilada, tanto el Sulfato Férrico como el sulfato ferroso no se encuentran clasificados como sustancias peligrosas en la Norma Chilena 382 Of 98 (Decreto N° 98), no obstante sí están mencionados en reglamentación extranjera, específicamente en la Guía Norteamericana de Respuesta en Caso de Emergencia (GRENA), en la serie catalogada como 9000 están descritos como Materiales Peligrosos y bajo Clase Corrosiva (Clase 8).

A continuación, se exhibe la Hoja de Seguridad correspondiente al producto investigado:

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PRODUCTOS QUIMICOS SULFATO DE HIERRO II HEPTAHIDRATADO	
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

SECCION 1 IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

Nombre del producto	SULFATO FÉRRICO SÓLIDO
Código	
Proveedor	
Fono Emergencia	2-6353800 (CITUC)
Uso del Producto	

SECCION 2 COMPOSICION/INGREDIENTES

Nombre químico	Sulfato Férrico
Fórmula química	[Fe ₂ (SO ₄) ₃]
Sinónimos	Sulfato de Hierro III
Familia Química	Sales Inorgánicas
Composición	50-60% de Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·9H ₂ O y < 0,1% de Ácido Sulfúrico
Nº CAS	010028-22-5
Nº NU	3264 / 9121

SECCION 3 IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS

Clasificación de Peligro	2 Salud	0 Inflamabilidad	1 Reactividad	NUMERO NU 3264 / 9121	Otros Riesgos
Marca en etiqueta	Clase 8 Sustancias Corrosivas.				
Peligros para la salud	Irritante para la piel, ojos y mucosas. El incremento de hierro en el organismo causa lesiones al hígado, bazo y Sistema Linfático.				
Efectos exposición aguda	Acumulación de Hierro en el organismo.				
Inhalación	El polvo es irritante y obstruye las vías respiratorias.				
Contacto con la piel	El polvo puede provocar lesiones leves e irritación prolongada.				
Contacto con los ojos	El polvo puede causar irritación del globo ocular.				
Ingestión	La ingestión en dosis altas, puede causar irritación gastrointestinal, alteración intestinal, dolor, náuseas, mareos, constipación generalizada.				
Efectos exposición crónica	Aumento de los niveles de hierro en el hígado, bazo y sistema linfático.				
Condición de salud agravada por exposición al producto	Personas con problemas a la piel o a las vías respiratorias, incrementan sus síntomas.				
Peligros para el medio ambiente	Información no confirmada				
Peligros especiales del producto	Liberación de gases tóxicos a altas temperaturas				

SECCION 4 MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación	Trasladar al afectado a un lugar libre de contaminantes. Si presenta dificultades para respirar, administrar oxígeno y respiración artificial si es necesario. Trasladar a un centro de médico.
Contacto con la piel	Remueva la zona contaminada. Lave la zona afectada con agua y jabón. Consulte médico.
Contacto con los ojos	Enjuague con agua durante 15 minutos. Busque atención médica.
Ingestión	Si la víctima se encuentra consciente, otorgue agua para beber, bajo ninguna circunstancia induzca el vómito. Si el afectado está inconsciente, no administre nada.

SECCION 5 MEDIDAS PARA CONTROLAR EL FUEGO

Agentes de extinción	Producto no combustible. La sustancia por sí sola no arde, pero puede descomponerse por calor y producir humo tóxico y gases corrosivos. Extinga el fuego con un producto adecuado.
Procedimientos especiales	Enfriar el producto, si está expuesto a altas temperaturas.
Equipo de protección personal	Nivel de protección acorde a las características principales del producto.

SECCION 6 MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Medidas de emergencia	Restringa el área afectada hasta que las operaciones de limpieza estén completas. Vista con equipamiento de protección personal adecuado. Neutralice con "piedra limo" o ceniza de soda". Ventile el lugar, ya que el uso de los productos anteriores, puede ocasionar emisiones de dióxido de carbono. Disponga los residuos en recipientes apropiados, recolecte el producto derramado y recupere dentro de las posibilidades restos del producto derramado. Notifique a las autoridades lo antes posible.
Equipo de protección personal	Equipo de seguridad adecuado a las características del compuesto químico.
Precaución para evitar daño al ambiente	Evite emisiones del polvo.
Métodos de limpieza	Recoger con palas antichispas y envasar en recipientes de plástico. Seguir instrucciones de almacenamiento de la etiqueta. Etiquetar restos del producto con información necesaria.
Métodos de eliminación de desechos	El polvo puede ser tratado y neutralizado con ceniza de soda (soda cáustica).

SECCION 7 MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Recomendaciones técnicas	Mantenga temperatura entre 10-30 °C. Almacene lejos de materiales incompatibles, sobre todo alcalinos. Revise la duración total del producto. Mantenga en contenedores bien cerrados, cuando el producto no esté en uso. Protección personal adecuada.
Precauciones a tomar	No exponga el producto a elevadas temperaturas, ni tampoco incidencia directa del sol.
Recomendaciones sobre manipulación	Vista ropa apropiada y con la debida protección. Siga instrucciones de manipulación, almacenamiento y seguridad prescritas en la etiqueta. No manipule sin la debida autorización.
Condiciones de almacenamiento	Almacene en ambiente fresco y seco, solamente en bolsas de plásticos. Ventilación prolongada, lejos de fuentes de ignición. Temperaturas entre 10-30°C.
Embalajes	Envases plásticos

SECCION 8 CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCION ESPECIAL

Medidas para reducir posible exposición	Ventilación, evitar contacto físico, usar la protección personal.
Parámetros de control	Temperatura
Límite permisible ponderado (LPP)	Información no disponible
Límite permisible temporal (LPT)	Información no disponible
Límite permisible absoluto (LPA)	Información no disponible
Límite peligro inmediato vida/salud (PIVS/IDLH)	Información no disponible
OSHA	
Protección respiratoria	Tanto en emergencias y en operaciones no rutinarias usar filtros apropiados para el compuesto.
Guantes de protección	Guantes de neopreno impermeable. Otros materiales con similares características de protección.
Protección a la vista	Antiparras y/o herramientas asociadas a la protección respiratoria.
Otros equipos	Botas y delantal adecuados a las operaciones del compuesto.
Ventilación	Local y general a prueba de explosión.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico	Sólido/líquido.
Apariencia y olor	Cristales o gránulos de color Verde/Café.
Composición	50-60% de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ y < 0,1% de Ácido Sulfúrico
pH	< 1
Temperatura de descomposición	Información no disponible
Punto de inflamación	Información no disponible
Temperatura de autoignición	Información no disponible
Propiedades explosivas	Información no disponible
Peligros de fuego o explosión	No combustible por sí solo
Presión de vapor a 20°C	Información no disponible
Densidad de vapor	Información no disponible
Densidad	Información no disponible
Solubilidad en agua	Soluble
Punto de fusión	Información no disponible
Punto de ebullición	105-110 °C
Gravedad Específica	1,43-1,56
Velocidad de propagación de la llama	Información no disponible

SECCION 10 ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Estable a temperatura y presión normal.
Condiciones que deben evitarse	Las descritas con anterioridad
Incompatibilidad	Álcalis, carbonatos solubles, sales de oro, acetato de plomo, cal apagada, potasio, yoduro de potasio, sales de plata, borato de sodio, tartrato de sodio, tanino. Sustancias oxidables.
Productos peligrosos de la descomposición	Información no disponible
Productos peligrosos de la combustión	Óxido de Sulfuro e Hidrógeno.
Polimerización peligrosa	Información no disponible

SECCION 11 INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad aguda	Irritante
Toxicidad crónica	Tiene efectos negativos en el hígado.
Efectos locales	Irritación, ardor, enrojecimiento, diarrea, vomito.
Sensibilización alérgica	Información no disponible.
Otra información	No es un agente cancerígeno.


SECCION 12 INFORMACION ECOLOGICA

Inestabilidad	Altera sus propiedades la luz solar y las altas temperaturas.
Persistencia / degradabilidad	Información no disponible
Bio-acumulación	Información no disponible
Efectos sobre el ambiente	Información no disponible

SECCION 13 CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION FINAL

Método eliminación producto en residuos o envases	Llevar a vertedero autorizado o estudiar su reciclado.
----------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------

SECCION 14 INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

WHMIS	CLASE 8 SUSTANCIAS CORROSIVAS	
Normas R y S	<p>R22 Peligroso si es tragado.</p> <p>R36 Irrita los ojos</p> <p>R37 Irrita las vías respiratorias</p> <p>R38 Irrita la piel</p> <p>S26 En caso de contacto con los ojos, lavar inmediata y con agua</p> <p>S36 Protección adecuada</p>	
Nº NU.	9121	
Otra Clasificación	CLASE "E" Irritante a la piel y mucosas.	
Embalaje/Envase	III	

SECCION 15 NORMAS VIGENTES

Normas internacionales aplicables	WHMIS, FDA, CWA, FDA, TSCA, NFPA, SARA, CERCLA RQ.
Normas nacionales aplicables	No se aplica a nivel nacional.
Marca en etiqueta	Sustancias peligrosas corrosivas

SECCION 16 OTRAS INFORMACIONES

CONFECCION	REVISION	PREVENCION RIESGOS	FECHA VIGENCIA
		Original Firmado	
<p>NOTA: LA INFORMACION AQUI INDICADA ESTA ELABORADA DE FUENTES ORIGINARIAS MAS OTROS ANTECEDENTES CONFIABLES. SIN EMBARGO, SE ENTREGAN SIN GARANTIA EXPRESA O IMPLICITA RESPECTO DE SU EXACTITUD O CORRECCION. LAS OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE FORMULARIO SON LAS DE PROFESIONALES CAPACITADOS. LA INFORMACION QUE SE EXPRESA EN EL, ES LA CONOCIDA ACTUALMENTE SOBRE LA MATERIA. EL USUARIO DETERMINARA LAS CONDICIONES DE USO SEGURO DEL PRODUCTO.</p>			

5. CAPÍTULO “CONCLUSIONES”

El proyecto analizado, posee la ventaja de utilizar como insumos principales materiales de la misma fundición en la cual estará emplazado. Escoria de descarte (residuo considerado no peligroso de acuerdo al Art. 23 del Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos), Ácido Sulfúrico proporcionado por la Planta de Limpieza de Gases, Bacterias ferroxidantes obtenidas del Tranque Barahona y Agua Make-Up. Por lo tanto, corresponde a un proyecto que hace propio el uso de tecnología limpia, aminora la contaminación y contribuye al mejoramiento continuo.

En la descripción del área de influencia, destaca la transición climática de la zona, variando de estación seca a clima de nieve por efecto de la altura, por lo tanto, esta variabilidad climática influye y debe ser considerada al momento de la construcción de las pilas; ya que al existir épocas de sequía, periodos excesivamente lluviosos con fuertes vientos y grandes acumulaciones de nieve (hasta los 3 metros de altura), podría provocar el derrumbamiento de las pilas (hasta licuefacción), escorrentía de material lixiviado y riesgos de infiltraciones. Las precauciones necesarias de seguridad y protección ambiental, se encuentran definidas en el Capítulo 3, conforme a legislación aplicable.

En cuanto a intervención hidrológica, el proyecto no presenta riesgo para los efluentes de la hoya hidrográfica del río Cachapoal (ríos Coya y Pangal), pues los residuos líquidos industriales (efluentes con características de acidez) derivados del proceso general de la Planta de Sulfato Férrico, serán diluidos y lavados con “agua Make-Up”, por lo que nuevamente estarán en condiciones de ser reutilizados en el desarrollo del proceso unitario de la misma planta. La recirculación de agua, contribuirá a elevar el pH a 5,5 (desde un pH inicial de 2), por lo tanto no concibe riesgo para efluentes.

En cuanto a emisiones atmosféricas, el material particulado (PM10) resulta importante, sobre todo en la primera etapa del proceso, pues se

requiere remover parte del terreno original (1000 m² a una profundidad de 1 (m) de altura) para la instalación de pilas. Sin embargo, de acuerdo a experiencia de operarios y cálculos estimados utilizando fórmulas matemáticas establecidas y aprobadas por EPA (AP-42), se corroboró que la emisión total de material particulado (19,1 Kg/día) no constituye bajo ningún caso, riesgo para la salud humana y ni tampoco para el medio ambiente.

Los niveles de ruido se manifiestan significativos, debido al tránsito de maquinaria de trabajo, camiones, alteraciones del terreno. De acuerdo a las estimaciones de ruido elaboradas y datos recopilados de los mapas de ruidos de la fundición, el nivel máximo de presión sonora o de ruido generado durante el transcurso del proyecto, corresponde a un promedio de 32 (dB), pudiéndose alcanzar los 62 (dB). Consecuentemente, se cumple con el límite máximo permitido para la Zona IV estipulado en el D.S. N° 146/98 sobre emisiones de ruidos molestos generados por fuentes fijas, la que admite un máximo de 70 (dB). Al no existir poblaciones humanas cercanas ni poblaciones animales, contando con el equipo de seguridad para los operarios a cargo del proyecto, no se observa riesgo de este tipo.

El manejo y/o manipulación continua del sulfato férrico - sulfato ferroso, incluyendo los residuos sólidos derivados de éstos; podría generar situaciones inseguras e inminentes, debido a la escasa información manejada respecto al mismo. A nivel nacional, la legislación no menciona explícitamente la sustancia y a nivel internacional, existen pocos datos sobre su comportamiento y no se registran estudios sobre límites de exposición permitidos.

Se debe mencionar además, el deficiente y poco coherente sistema de información de los productos utilizados por las plantas productivas de la fundición y departamento encargado de seguridad ambiental. Esto se critica, porque al indagar acerca del compuesto, por ejemplo, usado tanto en la planta de limpieza de gases como en la Planta de Hidrometalurgia (ubicada en

Colón), no se registró relación entre ambos datos. Por lo tanto, se recomienda notificar oportunamente respecto a químicos usados, con el fin de actualizar constantemente las Hojas de Seguridad de los referidos compuestos (Ver Capítulo 3) .

Con la aplicación del método F.I.R.L.P.L., se reconocieron 17 aspectos ambientales que guardan directa relación con el proyecto. De este total, existen 14 aspectos que arrojaron *significancia media*, de éstos lo que ponderan sobre los 44 puntos (promedio del criterio medio) son: uso de energía eléctrica, producción de riles lixiviados/biolixiviados, producción de ruido, generación de escoria lixiviada, generación de material particulado, uso de combustibles y agua. El resto de los aspectos (3) corresponden a aspectos de *baja significancia*: generación de rises, emisión de metales pesados y volcamiento de camión con escoria curada y/o solución lixiviada.

Al emplear el método de Valoración Cualitativa propuesto, de los 17 aspectos reconocidos y señalados previamente, se registró 14 aspectos con *importancia moderada*, difiriendo del método anterior, en el aspecto “uso de combustibles”, el que es catalogado, según el precedente método de valoración, con importancia irrelevante. Justamente en la clasificación de irrelevante, destaca 3 aspectos ambientales: generación de rises, emisión de metales pesados, volcamiento de camión con escoria y/o solución lixiviada y uso de combustibles.

Efectivamente existe concordancia entre ambos métodos, dado que del total de aspectos destacados, ya sea con *significancia media* o *importancia moderada*, existe variación sólo en un aspecto. Aquellos aspectos calificados en el nivel inmediatamente inferior del referido método (importancia irrelevante y baja significancia respectivamente) fluctúan en el mismo número. Por lo tanto, es recomendable vigilar y monitorear aquellos aspectos valorados en nivel principal, si fuese posible, un análisis más detallado de cada uno.

Considerando las características generales de la planta, análisis de matrices y revisión de la legislación asociada, se concluye que el proyecto debe ingresar al S.E.I.A. por ajustarse a *“proyecto de desarrollo minero, planta procesadora”* (descrito en la letra “i” de la Ley N° 19.300), a través de una Declaración de Impacto Ambiental, por no presentar ninguno de los efectos, características o circunstancias descritas en el Art. 3 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, en las magnitudes señaladas como peligrosas para ser humano y medio ambiente.

ACEVEDO, F.; GENTINA, J. and ILLANES, A. Aspectos Básicos y Aplicados de Lixiviación Bacteriana. En su: Fundamentos de Ingeniería Bioquímica. Valparaíso, Chile, Ediciones Universitarias de Valparaíso de la UCV, 2002. pp. 228-230; 242-248.

ANDERSON, D.; DONELLY, J. and EVANS, C. Arsenic Control in Effluents from Copper Smelter Acid Plants. En: Annual Air & Waste Management Association Meeting & Exhibition (93 rd, 2002, Salt Lake, UTAH, Estados Unidos). Publicación. Vancouver, Canadá, 2000. pp. 1-21.

ANGEL, A. El Cobre Chileno. Santiago, Chile. Conosur Ltda. 2003. 16 p.

ASTORGA, E. Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, Régimen Jurídico en especial aplicado a la Actividad Minera. Santiago, Chile, Conosur Limitada. 2000. pp 4-26.

AYUMI, J.; TERUYUKI, U.; JIRO, A. and KOJI, M. Removal of Heavy Metals from Anaerobically Digested Sewage Sludge by a New Chemical Method using Ferric Sulfate. Water Science and Technology, 34 (3): 751-758. Febrero 2000.

BAROS, M. El Teniente: Los Hombres del Mineral 1945-1995. Santiago, Chile. Gráfico Andes Ltda. 2000. Tomo II, pp. 23-28.

BECKEL, J. El Proceso Hidrometalúrgico de Lixiviación en Pilas y el Desarrollo de la Minería Cuprífera en Chile. [En línea]: documento electrónico en internet. 2000. [fecha consulta: 16 julio 2004]. Disponible en: <<http://cepal.org/mineria.doc>>.

BISWAS, A. & DAVENPORT, W. Extractive Metallurgy of Copper. 5th Edición Pergamon Press. 2001. pp. 97-114.

CANTER, L. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental Técnicas para la Elaboración de Estudios de Impacto. 2^{da} Edición. USA., McGraw-Hill. 2000. pp. 70-119.

CASAS DE PRADA, J.; LIENQUEO, M and CUBILLOS, F. Modelación Cinética de la precipitación de hierro como jarosita en soluciones lixiviantes utilizando la bacteria

Thiobacillus ferrooxidans. En: Congreso Chileno de Ingeniería Química (XIV, 2000, Santiago, Chile). Publicación. Santiago, Chile, Universidad de Santiago, 2000. pp. 23-30.

CASCIO, J.; WOODSIDE, G. and MITCHELL, F. Guía ISO 14.000: Las nuevas Normas Internacionales para la Administración Ambiental. 2^{da} Edición. USA., McGraw-Hill.1997. pp. 221.

COMISIÓN CHILENA DEL COBRE. 11 Enero 2005. <http://www.cochilco.cl/desarrollo/fr_boletín.html>.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Plan de Descontaminación del área circundante a la Fundición Caletones de División El Teniente, Codelco Chile. 2003.

CONESA, V. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 2^{da} Edición. España., Mundi-Prensa. 1995. pp. 72-90.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL. 9 Enero 2005. <<http://www.conaf.cl>>.

DAZA, G. Evaluación Ambiental de la Producción microbiana de Sulfato Férrico a partir de Escorias de Fundición de Cobre. Tesis (Ingeniero Civil Bioquímico). Valparaíso, Chile, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería. 2003. pp. 1-9.

DAWSON, R.; MORGENSTERN, N. and STOKES, A. Liquefaction flowslides in Rocky Mountain Coal Mine Waste Dumps. Canadian Geotechnical Journal 35: 328-343, 1998.

DECRETO SUPREMO Nº 201. Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 29 de Abril de 2001.

DIAZ, C.; SCHWARE, H. and TAYLOR, J. The Changing Landscape of Copper Smelting in the Americas. En: Copper International Conference (1999, Santiago, Chile). 1999. pp. 3-28.

DONELLY, J & LAWLER, D. and LYNE, E. Effluents, Emissions and Product Quality. Hidrometallurgy 3: 217-241, 2000.

EAGLEBROOK [en línea]. Québec Canadá. [Fecha consulta: 8 Febrero 2005]. Disponible en: <<http://www.eaglebrook.com/PDF/Ferric20Sulfate.pdf>>.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Procedure for Preparing Emission Factors Documents* [on line]. Estados Unidos. Office of Air Quality Planning and Standards Office Air Radiation U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park. Noviembre de 1997 [fecha consulta: 23 febrero 2005]. Chapter 2. Introduction to Emission Factors. Disponible en <<http://epa.gov/ttn/chief/ap42/index.htm>>.

FERNANDEZ, R. & VALENZUELA, E. Gestión ambiental de tránsito: Cómo la ingeniería de transporte puede contribuir a la mejoría del ambiente urbano. *Eure* [on line]. Vol. 30, Nº 89, 97-107 p., 14 Mayo 2004. [Fecha Consulta: 26 Noviembre2004].Disponibl <http://www.scielo.cl/scielo.php>>. ISSN 0250-7161.

GLASNER, R. Caracterización cinética-electroquímica de la oxidación de ión ferroso a ión férric sobre distintos materiales anódicos y su utilización como reacción anódica alternativa en electroobtención de cobre. Tesis (Magister en Ciencias de la Ingeniería mención Metalurgia Extractiva). Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento Ingeniería en Minas, 2003. pp. 23-27.

GÓMEZ, D. Evaluación de Impacto Ambiental. 2^{da} Edición Madrid, España, Agrícola Española S.A. 1994. pp. 63-100.

HEIKKLINEN, M.; KOORKKA-NIEMI, K.; LAHTI, M. and SALONEN, P. Groundwater and Surface Water Contamination in the Area of Hitura Nickel Mine, Western Finland. Environmental Geology. Springer-Verlag Heidelberg, 42 (4): 312-329. 2002.

HEWITT and GARY. ISO 14.001 Manual de Sistema de Gestión Medioambiental. 3^{era} Edición Madrid., International Thomson Editores S.A. 1999. 425 p.

HUTCHINSON, J. Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. En: International Symposium on Landslides (5th, 1988, Switzerland). General Report., Switzerland, 1988. Vol. 3, pp. 3-35.

INNOVACIÓN MINERÍA Y METALURGIA. Informe Final del Proyecto Planta Generadora de Sulfato Férrico en División El Teniente, Codelco Chile. 2004
LEY N ° 19.300. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 9 de Marzo de 1994.

KLÖHN, C. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín N° 8. 1960. 95 p.

LIDE, D. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 82nd Edición Washington, D.C., CRC Press. 2002. pp. 62-64.

MARTIN, J.; BARBOSA, M.; GALEANO, M. and SOLER, M. Corregir la anemia en prediálisis con dos tipos de hierro intravenoso: Estudio comparativo entre el hierro gluconato (Ferrelecit®) vs hierro sacarosa (Venofer®). Revista Sociedad Española de Enfermería y Nefrología, 7 (2): 16-21, Junio 2004.

MAZUELOS, A.; ROMERO, R.; PALENCIA, I.; CARRANZA, F. and BORJAS, F. Oxygen Transfer in Ferric Iron Biological Production in a Packed-Bed Reactor. Hidrometallurgy, 65 (1): 15-22, Abril 2002.

MAZUELOS, A.; ROMERO, R.; PALENCIA, I.; CARRANZA, F. and RODRIGUEZ, G. Ferric Iron Production in a Packed Bed Bioreactors: Influence of Ph, Temperatura, Particle Size, Bacterial Support Material and Type of Air Distributor. Mineral Engineering, 14 (5): 507-514, Febrero 2001.

Mc CABE, W.; SMITH, J. y HARRIOTT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4^{ta} Edición. España, 1998. pp. 618-627.

MERUANE, G. Oxidación bacteriana de sulfato ferroso con *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Tesis (Doctor en Ciencias de la Ingeniería, mención química). Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química, 2002. pp. 1-18.

PROYECTA INGENIERÍA S.A. Bioprocesos de Obtención de Sulfato Férrico desde Soluciones de Sulfato Ferroso Generadas a partir de Escorias de Descarte. Diciembre, 2002.

RAMÍREZ, A. Estudio de Sobrecarga de Avalanchas y Análisis de Protecciones para el Camino Colón- Sewell, Carretera del Cobre. Tesis (Constructor Civil). Valparaíso, Chile, Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles. Memoria de Título. 2002.

SEOANEZ, M. and ANGULO, I. Manual de Gestión Medioambiental de la Empresa. Mundi-Prensa. 1999. pp. 515-518.

SMITH, M. Technological Advances in Low Grade Leaching. En: ExpoMin (2002, Santiago, Chile). Investigación. Santiago, Chile, 2002. pp. 1-10.

STEFANAKIS, M. & KONTOPOULOS, A. Production of Environmentally Acceptable Arsenites-Arsenates from Solid Arsenic Trioxide. En su: Arsenic Metallurgy Fundamental y Applications. Queneau, 1998. pp. 287-304.

URRUTIA, E. Los pasos simples del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001. Santiago, Chile., Servicios Gráficos Boillot. 2001. 160 p.