



Revisión de pares del Informe FIPA 2015-11 “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”. Síntesis

Junio, 2017

Revisión	Elabora	Revisa	Aprueba	Fecha
	Soledad Ubilla	Pablo Daud	Claudio Masson	
		Ricardo Katz	Archivaldo Ambler	
		Tracy Shimmield		
		SRK Consultores		
		Anny Rudolph		
		Ramón Ahumada		



Elaborado por:

Gestión Ambiental Consultores S.A.

Padre Mariano 103 of. 307, Providencia

Fono: +56 2 2719 5600

www.gac.cl

INDICE GENERAL

Resumen Ejecutivo	3
1 Introducción	6
2 Objetivo del Presente Trabajo e identificación de los Revisores	7
2.1 Anny Rudolph Geisse.....	7
2.2 Joaquín Salas	7
2.3 Marcela Curotto	8
2.4 Ramón Ahumada	8
2.5 Tracy Shimmield	9
3 Antecedentes.....	10
3.1 Proceso productivo Planta Pellets y origen del relave	11
4 Análisis Propuesta de Trabajo e Informe final FIPA 2015-11, preparados por SUMIRCO E.I.R.L (Dr. Bernhard Dold).....	16
4.1 Revisión de la Metodología de Investigación de la Propuesta de Estudio	17
4.2 Revisión de Pares del Informe Final	20
4.2.1 Comentarios Generales	20
4.2.2 Análisis de aspectos específicos	24
5 Conclusiones y Recomendaciones.....	31

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 3-1: PUNTOS DE DESCARGA DE RELAVES EN ENSENADA DE CHAPACO (1994-2015)	12
FIGURA 3-2: DIAGRAMA DE FLUJO MINA LOS COLORADOS – PLANTA DE PELLETS	13
FIGURA 3-3: ESQUEMA DE OPERACIÓN DE UN TAMBOR MAGNÉTICO	14
FIGURA 3-3: DIAGRAMA DEL PROCESO DE MOLIENDA HÚMEDA EN PLANTA DE PELLETS	14
FIGURA 3-5: ESTANQUE MEZCLADOR – DESAIREADOR (EMD)	15

INDICE DE TABLAS

TABLA 3-1: CONTENIDO DE CIERTOS ELEMENTOS MAYORITARIOS, DEBIDO A SU OCURRENCIA Y PORCENTAJE EN PESO EN LAS MUESTRAS DE RELAVE (2016)	16
--	----

INDICE DE ANEXOS

<u>ANEXO 1: CURRICULUM VITAE DE LOS INVESTIGADORES</u>
<u>ANEXO 2: INFORMES EN DETALLE DE LOS INVESTIGADORES</u>

Resumen Ejecutivo

El presente resumen contiene una síntesis de los análisis y resultados de 4 informes desarrollados por profesionales y científicos senior (denominados para estos efectos como “pares”), con amplia experiencia en bio-geoquímica, eco-toxicología o ecosistemas marinos.

Estas revisiones de pares fueron encomendadas por Compañía Minera del Pacífico S.A. (CAP Minería) a cada uno de los autores, quienes realizaron una exhaustiva revisión, tanto de la propuesta técnica presentada por la Empresa Individual de Responsabilidad Limitada (E.I.R.L.) SUMIRCO (Bernhard Dold Sustainable Mining Research & Consultancy), como del Informe Final del *“Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”*, elaborado por la misma empresa, en colaboración con el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE).

El presente informe recopilatorio fue requerido a Gestión Ambiental Consultores (GAC) por CAP Minería, con el único propósito de sintetizar, en un solo documento, las principales conclusiones de los autores, en las materias que fueron objeto de su revisión. En tal contexto, el presente documento no aporta juicios adicionales a las revisiones de pares.

El Proyecto licitado por la Subsecretaría de Pesca, identificado como FIP 2015-11, surge como consecuencia del procedimiento de evaluación ambiental del Proyecto *“Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta Pellets”*, sometido al SEIA con fecha 27 de junio 2013 por la empresa CAP Minería. En efecto, el Decreto Exento N°235/2015 que “APRUEBA BASES DE LICITACION PÚBLICA QUE INDICA” (Proyecto FIP 2015-11), en sus Bases Técnicas, señala específicamente que *“se requiere analizar determinadas descargas de relaves mineros al medio marino, especialmente de relaves provenientes de yacimientos de óxidos de hierro, a fin de contar con mayores antecedentes y fundamentos técnicos para la evaluación ambiental de proyectos de este tipo, que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y que deben ser evaluados por Subpesca”*.

El citado Proyecto FIP 2015-11, que fue licitado públicamente por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, tuvo por principal propósito permitir *“contar con información específica de las reacciones que ocurren en la matriz sedimentaria y columna de agua, producto de determinadas descargas al medio marino que liberen componentes, especialmente tóxicos, que afecten la biota acuática. Lo anterior, resulta esencial para comprender y analizar los posibles impactos de las diferentes actividades que inciden en el medio marino, deteriorando las condiciones de calidad del agua y sedimentos, afectando de esta manera los recursos hidrobiológicos y la biodiversidad marina”*.

Como producto de lo anterior, se reconocen dos documentos que son pertinentes de revisar. Estos son:

1. PROPUESTA TÉCNICA “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”. LICITACIÓN ID 4728-81-LP15. Proyecto FIP 2015-11.
2. Informe Final FIPA 2015-11 Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos

De la revisión de los antecedentes citados, los pares concluyen que, tanto la propuesta metodológica como los resultados obtenidos del Informe Final, no pueden considerarse como representativos de los procesos que se han querido simular. El anterior juicio se basa tanto en la escasa representatividad de los materiales ensayados, como en la nula relación que existió entre las condiciones de laboratorio (simulación) y las condiciones específicas del fondo marino en la zona propuesta por el proyecto de CAP Minería para la descarga. También se destaca entre las falencias de estos documentos, la falta de un análisis con relaves reales y la no inclusión, tanto en los ensayos como en los modelos, de la caracterización específica del medio marino en la zona de los potenciales vertidos. Ello, sin considerar la falta de información de respaldo y la baja representatividad del modelo empleado. En este sentido, los revisores unánimemente concuerdan que los resultados obtenidos no pueden considerarse como una referencia para la toma de decisiones en la evaluación ambiental de un proyecto de depositación de relaves en el fondo marino.

Los pares concluyen, además, que no hay correlación entre lo declarado en el título del Proyecto FIP 2015-11 y lo efectivamente realizado en el proyecto que dio origen al informe final. Ello, basado en que:

- 1) El material utilizado para los análisis no es representativo del objeto de estudio (uso de mono minerales no tiene las características de la descarga de relave);
- 2) el medio donde se realizan los ensayos no cumple con la caracterización físico-química del agua de mar (uso de agua pura y agua de mar sintética, no corresponde a sedimentos y columna de agua del mar), y
- 3) se utiliza un microorganismo especializado en disolución reductiva de óxidos de hierro (bacteria *Shewanella loihica*), que no es característico del medio marino de Chile (la bacteria se obtiene a 1.300 m de profundidad en aguas termales de Hawai y ha sido manipulada genéticamente para la remediación de suelos contaminados).

Los revisores coinciden en que el Informe no presenta una caracterización adecuada, en especial de los minerales empleados, de las condiciones ambientales y de los parámetros del modelo, por lo cual sus resultados no pueden considerarse representativos de los procesos geoquímicos que puedan darse en sedimentos y columna de agua del mar a consecuencia de las descargas mineras.

Las observaciones al diseño e implementación de los estudios experimentales, señaladas en la revisión de pares, confirman el sesgo en las condiciones de observación (nula relación entre las condiciones de laboratorio y las condiciones reales del fondo marino en la zona propuesta para la descarga), lo que, sumado a la ausencia de información que permita la reproducción y validación de sus resultados, debilita cualquier conclusión que intente explicar causalidad de los efectos de la depositación de relaves en el mar, ya que carece de validez científica.

Los revisores llaman la atención sobre el sesgo de la información científica presentada, considerando que toda la revisión bibliográfica de evidencia presentada corresponde a informes que van en la dirección de los resultados esperados y obtenidos, omitiendo otros antecedentes y no presentando ningún estudio que demuestre resultados experimentales distintos, a pesar de estar disponibles en fuentes de publicación científica validadas. En general, (1) se pone énfasis en los procesos que maximizan las tasas de liberación de metales; (2) sólo se consideran a nivel conceptual las reacciones de fijación de dichos metales, como co-precipitación, y/o sorción, y (3) se omiten los fenómenos de dispersión de dichos componentes en las aguas marinas.

En resumen, es razonable concluir que se trata de un estudio en el cual, quienes realizan la investigación, influyen en el diseño, metodología, implementación de experimentos y modelación, con el fin de arribar y/o representar determinados resultados. Esto se confirma por cuanto, en la interpretación de resultados, solo se focaliza en resaltar los posibles aspectos negativos del vertido de los relaves, sin presentar todos los resultados obtenidos por la misma investigación que indican ausencia de efectos negativos en la gran mayoría de los experimentos, concentrándose solamente en los resultados obtenidos por la disolución reductiva del hierro producida por la actividad metabólica de *Shewanella loihica*.

En consecuencia, es posible concluir que todos los resultados obtenidos en el estudio realizado por SUMIRCO E.I.R.L. (Bernhard Dold Sustainable Mining Research & Consultancy), coinciden con los análisis presentados por CAP Minería durante la tramitación ambiental del EIA del Proyecto “*Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta Pellets*”, sometido al SEIA con fecha 27 de junio 2013, con la sola excepción de los experimentos con *Shewanella loihica*, bacteria manipulada genéticamente, que bajo condiciones completamente excepcionales, permitió obtener el resultado esperado en esta investigación.

1 Introducción

El presente informe contiene una síntesis de los análisis y resultados de 4 informes, desarrollados por profesionales y científicos (denominados para esto efectos como “pares”), con amplia experiencia en la materia, quienes realizaron una exhaustiva revisión tanto de la propuesta técnica presentada por la Empresa Individual de Responsabilidad Limitada SUMIRCO E.I.R.L. (Bernhard Dold Sustainable Mining Research & Consultancy), como del Informe Final del “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”, elaborado por la misma empresa SUMIRCO E.I.R.L., en colaboración con el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE).

Dicho estudio fue adjudicado a la referida empresa en el año 2015, a través del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA), dependiente de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), organismo del Estado, dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

El FIPA fue creado por la Ley General de Pesca y Acuicultura en el año 1991 y está destinado a financiar estudios que se estimen como necesarios para fundamentar la adopción de medidas de administración de las pesquerías y de las actividades de acuicultura. Estas medidas de administración tienen como objetivo la conservación de los recursos hidrobiológicos, considerando aspectos biológicos, pesqueros, económicos y sociales (según Cuenta Pública del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura, 2015).

En ese contexto, el Proyecto identificado como FIPA 2015-11 surge como consecuencia del procedimiento de evaluación ambiental del Proyecto “Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta Pellets”, sometido al SEIA con fecha 27 de junio 2013 por la empresa Compañía Minera del Pacífico S.A. El citado Proyecto FIPA 2015-11, que fue licitado públicamente por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, tuvo por propósito permitir *“contar con información específica de las reacciones que ocurren en la matriz sedimentaria y columna de agua, producto de determinadas descargas al medio marino que liberen componentes, especialmente tóxicos, que afecten la biota acuática. Lo anterior, resulta esencial para comprender y analizar los posibles impactos de las diferentes actividades que inciden en el medio marino, deteriorando las condiciones de calidad del agua y sedimentos, afectando de esta manera los recursos hidrobiológicos y la biodiversidad marina”* (según Decreto Exento N°253 del 09 de abril de 2015. Bases FIPA 2015-11).

Para efectos de la revisión de pares, los especialistas a cargo de realizar este examen fueron seleccionados sobre la base de su experiencia en el campo de la ecotoxicología, bio-geoquímica, minería y depositación submarina de relaves, quienes tuvieron acceso al informe del Dr. Dold a través del Portal de Transparencia de la Subsecretaría de Pesca, mediante la solicitud AH002T0001269 del 21 de marzo de 2017.

El presente Informe de síntesis recopila y sistematiza todos los análisis desarrollados por los expertos que realizaron la revisión de pares. Adicionalmente, los informes completos de los especialistas se encuentran disponibles en Anexo N°2 del presente documento.

2 Objetivo del Presente Trabajo e identificación de los Revisores

El presente informe resume los principales análisis y conclusiones de la revisión de pares, efectuada a la propuesta técnica e Informe final del “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”. Estas revisiones fueron realizadas por profesionales y científicos senior, con amplia experiencia en ecotoxicología, geoquímica, minería y depositación de relaves en el mar, cuya reseña curricular se presenta en los puntos siguientes y cuyos Currículum detallados se adjuntan en Anexo N°1.

2.1 Anny Rudolph Geisse

Título Académico: Profesor de Química y Ciencias Naturales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile, con Grado Académico de Magister en Ciencias Mención Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile. Sus líneas de investigación son:

- Contaminación Marina
- Ecotoxicología
- Biomarcadores tempranos de contaminación en sistemas acuáticos

Cuenta con una importante producción científica de publicaciones ISI y proyectos de investigación científica en evaluación calidad de sedimentos marinos, estudios de ecotoxicidad marina, análisis de metales trazas, y contaminación ambiental en medio marino, entre otros.

2.2 Joaquín Salas

Geoquímico Senior del Área de Geoquímica de SRK Consulting (Chile). Geólogo (Universidad de Barcelona; 1994) y Doctor en Ciencias (Universidad Politécnica de Cataluña, 2002).

Sus principales líneas de trabajo son:

- Caracterización de ambientes contaminados por diferentes tipos de residuos.
- Análisis hidrodinámicos de balance de aguas y sus interacciones
- Caracterización geoquímica de recursos mineros.
- Creación de herramientas numéricas para simular gestión hídrica.

- Modelación de transporte reactivo de residuos mineros y simulación de comportamiento hidro-termo-geoquímico en aguas subterráneas.

Cuenta con más de 15 años de experiencia profesional en temas relacionados con la geoquímica de residuos mineros, caracterización de ambientes contaminados y en proyectos de gestión medioambiental ligados al desarrollo de trabajos mineros.

2.3 Marcela Curotto

Ingeniero Civil Químico y Licenciada en Ciencias de la Ingeniería, con 18 años de experiencia profesional en temas ambientales mineros, habiendo participado en proyectos para el área minera, obras civiles y agroindustria.

Sus principales líneas de trabajo son:

- Estudios de Impacto Ambiental.
- Estudios Geoquímicos.
- Planes de Cierre Mineros.

Se ha desempeñado como Jefe de Proyectos e Ingeniera Especialista en Planes de Cierre Mineros en SRK¹. Cuenta con experiencia en manejo de residuos sólidos (peligrosos y no peligrosos) de procesos mineros y metalúrgicos; caracterización, manejo y tratamiento de residuos industriales líquidos y aguas residuales, monitoreo de calidad de agua, así como también legislación ambiental, evaluación ambiental, y auditoría ambiental.

2.4 Ramón Ahumada

Licenciado en Biología, Universidad de Concepción, Concepción, Chile, Magíster en Ciencias, Mención en Oceanografía, Universidad de Concepción, Concepción, Chile y Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Sus líneas de investigación se basan principalmente en tres áreas:

- Oceanografía Química y Contaminación Marina: metales traza en agua (polarografía), organismos y sedimentos (espectrofotometría de absorción atómica, voltametría de redisolución anódica y espectroscopía de emisión atómica con acoplamiento inductivo de plasma).

¹ SRK Consulting es un grupo de consultoría internacional independiente que brinda asesoramiento y soluciones enfocadas a la industria minera y de recursos naturales e hídricos. Establecido en 1974, con más de 1500 profesionales localizados en más de 45 oficinas alrededor del mundo, SRK Consulting se posiciona como una compañía internacional líder en Due Dilligence, estudios de factibilidad y auditorías internas.

- Oceanografía Química, Áreas de Surgencia Costera: ciclo de nutrientes, ambientes anóxicos, modelamiento, química de aguas costeras, sedimentos marinos.
- Ecotoxicología: metales traza.

Cuenta con una amplia gama de publicaciones ISI, participación en proyectos de investigación científica y autor de capítulos de varios libros en los temas de oceanografía química, contaminación ambiental y ecotoxicología, entre otros.

2.5 Tracy Shimmield

Química, Stow College Engineering, Glasgow, 1979. Master en Química, Glasgow Technology College, 1981. Licenciado en Química Analítica Avanzada, Glasgow Technology College, 1982. Maestría en Ciencias en Química Analítica / Instrumental, Universidad de Strathclyde, Glasgow, 1985. PhD en Geoquímica, 1993. Doctorada en Química Nuclear, Química Ambiental, Química Analítica.

Sus líneas de investigación incluyen:

- Investigación y evaluación del impacto sobre el ambiente marino mediante el monitoreo de los contaminantes y el estudio de los procesos biogeoquímicos involucrados en su redistribución.
- Radioquímica y utilización de radionúclidos naturales y artificiales como trazadores de los procesos marinos, incluyendo las tasas de acumulación de sedimentos y de mezclado.
- Investigación en depositación de relaves mineros en el mar.

Actualmente es Co-Directora de “The Lyell Centre British Geological Survey”². Previamente dirigió el grupo de Biogeoquímica y Ciencias de la Tierra en el Scottish Association for Marine Science³ (SAMS). La autora tiene una amplia experiencia en la investigación geoquímica marina y biogeoquímica. Ha realizado numerosas investigaciones ambientales de procesos marinos, en especial relacionados con la depositación submarina de relaves. Supervisora de estudiantes de PhD, ha publicado 30 revisiones de pares y ha

² El British Geological Survey (BGS), órgano del Consejo de Investigación del Medio Natural (NERC), es el principal proveedor británico de información geológica objetiva, imparcial y actualizada para la toma de decisiones de usuarios gubernamentales, comerciales e individuales. El BGS mantiene y desarrolla la comprensión de la nación de su geología para mejorar la formulación de políticas, mejorar la riqueza nacional y reducir el riesgo. También colabora con la comunidad científica nacional e internacional en la realización de investigaciones en áreas estratégicas, incluyendo energía y recursos naturales, la vulnerabilidad a los cambios y peligros ambientales y el conocimiento general del sistema terrestre.

³ SAMS Research Services Ltd (SRSL) es una organización que provee consultoría especializada en temas marinos y servicios de investigación. Su misión es permitir a los clientes conocer y mitigar los riesgos involucrados en la interacción de la industria con el medio ambiente marino. SRSL es subsidiaria de la Asociación Escocesa de Ciencias Marinas (SAMS), y tiene su sede en el Scottish Marine Institute de Oban, Escocia.

gestionado 14 proyectos mayores de investigación en relación a la depositación de relaves en medio marino.

3 Antecedentes

Las bases del concurso público para la adjudicación y contratación del proyecto FIP N°2015-11 indican que este estudio permitiría *“contar con información específica de las reacciones que ocurren en la matriz sedimentaria y columna de agua, producto de determinadas descargas al medio marino que liberen componentes, especialmente tóxicos, que afecten la biota acuática. Lo anterior, resulta esencial para comprender y analizar los posibles impactos de las diferentes actividades que inciden en el medio marino, deteriorando las condiciones de calidad del agua y sedimentos, afectando de esta manera los recursos hidrobiológicos y la biodiversidad marina”*. El documento agrega: *“En este estudio, se requiere analizar determinadas descargas de relaves mineros al medio marino. Especialmente de relaves provenientes de yacimientos de óxidos de hierro, a fin de contar con mayores antecedentes y fundamentos técnicos para la evaluación ambiental de proyectos de este tipo, que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y que deben ser evaluados por Subpesca”*.

En el anterior marco referencial, el pre-informe final del proyecto FIP N°2015-11 señala que el objetivo del estudio ejecutado por SUMIRCO fue *“evaluar el potencial impacto que pueden tener en el ambiente marino el vertido de relaves proveniente de una mina de óxidos de hierro. Históricamente se depositaron en Chile relaves mineros en el mar en la localidad de Chañaral (Bea et al., 2010; Castilla, 1983; Dold, 2006; Korehi et al., 2013), y más al norte en la Mina Michilla. Esta última retiró sus relaves del mar para su depósito final en tierra. Actualmente existe solamente un depósito de relaves marinos activo en Chile que se encuentra en la Ensenada Chapaco y esta operado por la minera CAP”*. En ese contexto el claro objetivo del trabajo realizado por el Dr. Dold, fue evaluar el impacto en el ambiente marino, de los relaves de la Planta de Pellets de Huasco.

En virtud de lo anterior y teniendo en consideración que el estudio encomendado al Dr. Dold, por parte de SUBPESCA, se realiza con la finalidad de aportar mayor información respecto de los potenciales impactos que tendría la descarga de relaves mineros en el medio marino provenientes de la Planta de Pellets (en el marco del proceso de evaluación de impacto ambiental de un proyecto específico presentado por CAP Minería), es que esta empresa CAP Minería solicitó a un grupo de profesionales y científicos senior, con amplia experiencia en ecotoxicología, geoquímica, minería y depositación de relaves en el mar (cuya reseña curricular se presenta en el punto anterior), revisar la propuesta de estudio y, posteriormente, realizar la revisión del Informe Final del proyecto FIPA 2015-11.

Como cuestión preliminar, y con la finalidad de facilitar la comprensión de las importantes deficiencias que se identifican en el estudio FIPA 2015-11, en el punto siguiente se ha incluido un acápite relativo a la descripción del proceso productivo de la Planta de Pellets y a las características del relave que CAP Minería deposita en la Bahía de Chapaco, cuyas propiedades físico químicas, como se verá, distan sustantivamente de las muestras utilizadas en el estudio FIPA 2015-11, lo que desde ya viene a demostrar que los análisis y conclusiones de dicho estudio carecen de la validez requerida por el enfoque o método científico o las bases técnicas.

3.1 Proceso productivo Planta Pellets y origen del relave

Planta de Pellets inició sus operaciones en 1978, como un proyecto de desarrollo destinado a mantener las operaciones en el Valle del Huasco. Durante el periodo comprendido entre los años 1978 – 1994, los relaves generados en el proceso eran descargados en la zona intermareal rocosa de Ensenada Chapaco. Esta modalidad de descarga generaba una pluma boyante en la ensenada Chapaco, que se dispersaba mar afuera e iba gradualmente sedimentando sobre el fondo marino.

A principios de 1994, comenzó a operar un nuevo sistema de disposición submarina de relaves (STP⁴), autorizado por DIRECTEMAR (Resolución N°12.600/550, de fecha 11 de agosto de 1993), el cual consistía en una descarga gravitacional a través de una tubería submarina, que permitía verter controladamente y por gravedad a 25 m de profundidad (Figura 3-1).

En el año 2000, CAP Minería sometió al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) un proyecto de complementación de las actividades de la Planta de Pellets de Huasco. La tramitación de este proyecto, denominado “Mejoramiento tecnológico para la producción de concentrados de hierro” que incluyó la descripción del proyecto STP aprobado por la Autoridad Marítima en 1993, derivó en la dictación de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°035 de 2001, que aprobó dicho proyecto y que incluyó, como uno de los componentes evaluados, el relaveducto submarino.

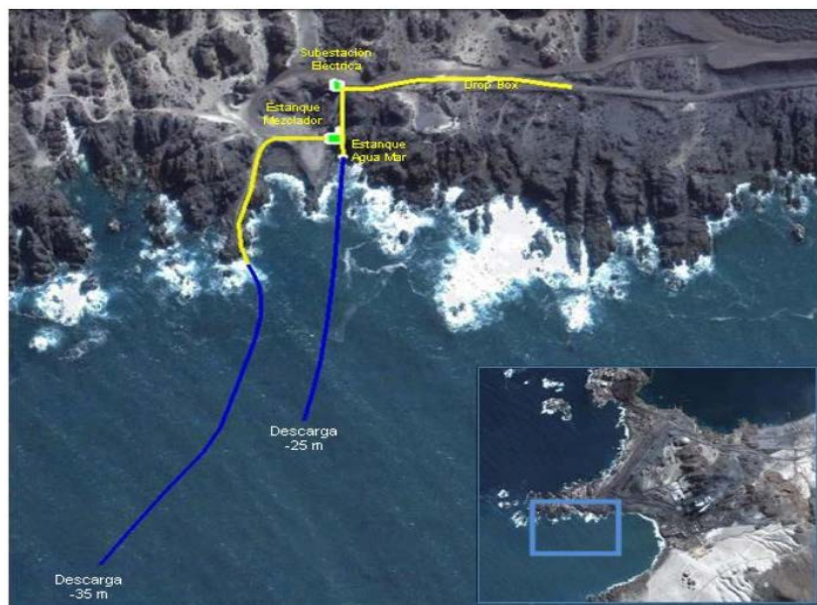
Posteriormente, en el año 2004, entró en operación la primera actualización de la descarga autorizada por DIRECTEMAR (Resolución N°12.600/218), consistente en un cambio de posición de la descarga localizando ésta a 35 m de profundidad, en la misma área de influencia. El mejoramiento tecnológico consistió en incorporar un sistema de bombeo y renovar el estanque mezclador – desaireador. El nuevo punto de descarga quedó ubicado 350 m del borde costero en dirección Sur, hasta una profundidad de 35 m (Figura 3-1).

Como producto de las autorizaciones sectoriales y ambientales, se ha aplicado un Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) desarrollado desde el año 1994, el cual permitió comprobar que los ecosistemas

⁴ Submarine Tailings Disposal, por sus siglas en inglés.

intermareal y submareal se recuperaron en un plazo de 2-3 años, una vez que cesó la descarga intermareal (1994). Cabe señalar que el PVA, por disposición de la RCA N°035 del 2001, se reporta anualmente a las autoridades de SERNAPESCA, DIRINMAR, CONAMA (actualmente SEA) y actualmente también a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

FIGURA 3-1: PUNTOS DE DESCARGA DE RELAVES EN ENSENADA DE CHAPACO (1994-2015)

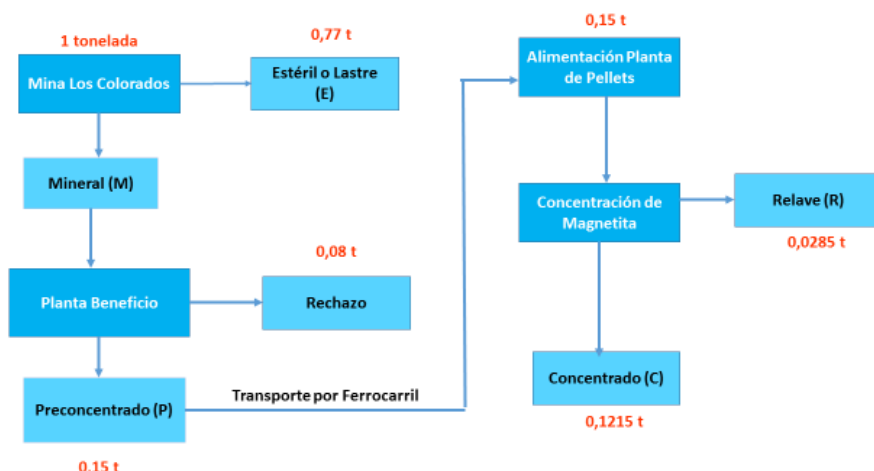


Fuente: CAP, 2016

Cabe señalar que el relave, generado físicamente por los procesos de molienda y concentración gravimétrica y magnética de la Planta de Pellets de Huasco, es producido como consecuencia de la concentración del mineral, el cual es extraído y preconcentrado (también físicamente) en el yacimiento minero Mina Los Colorados. Este yacimiento posee una ley de hierro total de aproximadamente 35 a 40%.

En la Mina Los Colorados, el mineral es sometido a etapas de chancado y concentración magnética seca, hasta obtener un material con una distribución granulométrica tal que un 96 % de las partículas está bajo $\frac{1}{4}$ " o 6,35 mm. Dicho producto mineral, que contiene aproximadamente entre un 58% y un 61% de Fe, es denominado "preconcentrado". No obstante la ley del mineral se caracteriza por el contenido del elemento hierro (Fe), éste se encuentra en un estado oxidado, como minerales de magnetita [Fe_3O_4] (con hematita [Fe_2O_3] subordinada). Por lo anterior, el contenido de magnetita y hematita en el preconcentrado es aproximadamente un 80 %.

FIGURA 3-2: DIAGRAMA DE FLUJO MINA LOS COLORADOS – PLANTA DE PELLETS

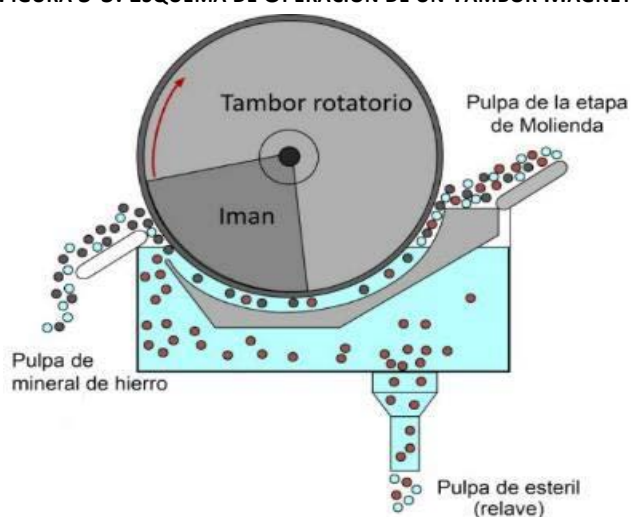


Fuente: CAP, 2016

Las fracciones no magnéticas presentes en el mineral, vale decir la hematita (Fe_2O_3), los hidróxidos como la limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y algunos complejos que contienen pequeñas cantidades de manganeso (Mn), en un porcentaje importante son minerales acompañantes de la roca estéril y, por lo tanto, al no concentrarse magnéticamente, quedan depositados en los botaderos de Mina Los Colorados.

Por su parte, el procesamiento del mineral preconcentrado en la Planta de Pellets consiste en la molienda en medio acuoso, que permite la liberación de las partículas de hierro de interés productivo, que son sometidas a un proceso de separación meramente física, donde la magnetita, más pesada que la ganga, es separada primero por peso y luego, sobre la base de su característica paramagnética, mediante campos magnéticos, ubicados en tambores rotatorios que separan las especies no magnéticas aún remanentes. El esquema del proceso de separación magnética se aprecia en la siguiente figura:

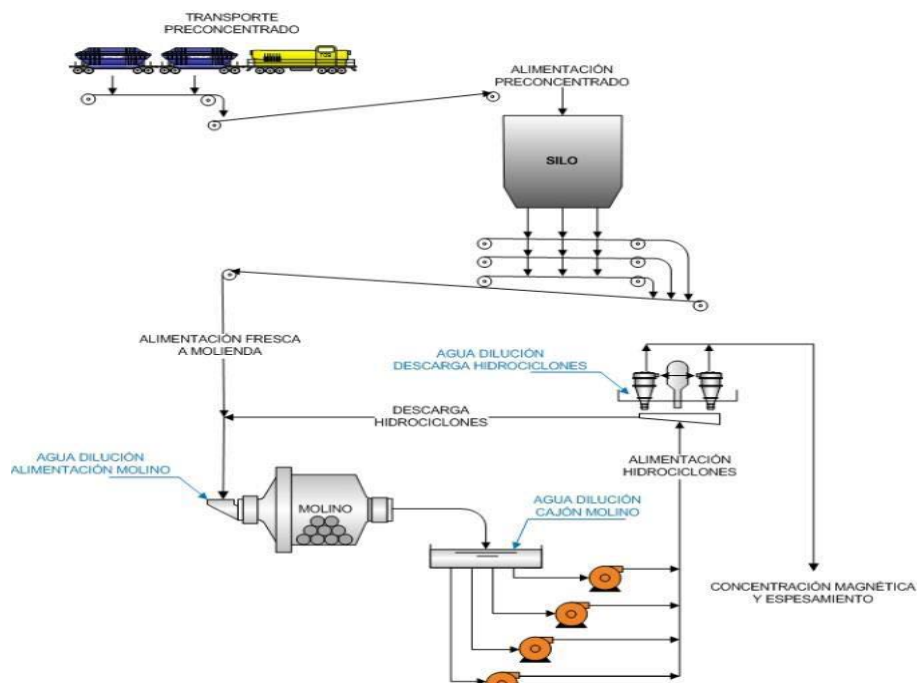
FIGURA 3-3: ESQUEMA DE OPERACIÓN DE UN TAMBOR MAGNÉTICO



Fuente: CAP, 2016

La pulpa de mineral de hierro obtenida, es enviada a una etapa de espesamiento y filtrado, obteniéndose un concentrado de óxido de hierro (Fe_3O_4) con una ley de 68% de hierro total y una humedad en el rango 8-10% (producto denominado comercialmente Pellet Feed que puede ser exportado como tal o dirigido al área de endurecimiento térmico para producir pellets).

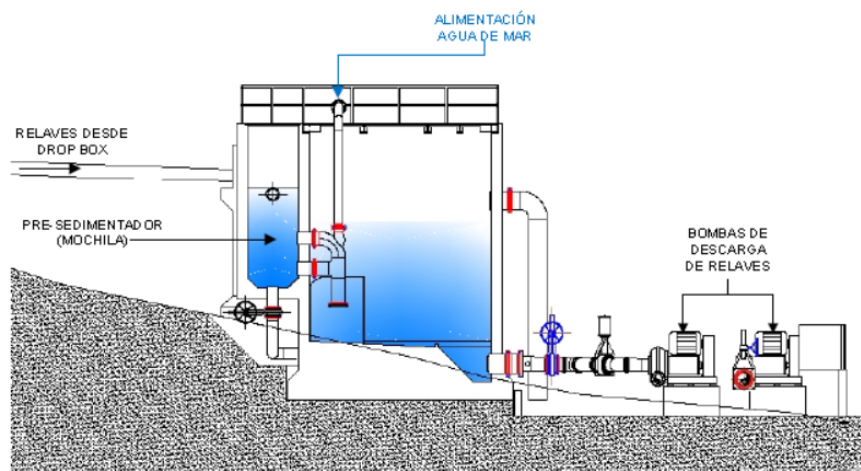
FIGURA 3-4: DIAGRAMA DEL PROCESO DE MOLIENDA HÚMEDA EN PLANTA DE PELLETS



Fuente: CAP, 2016

La pulpa de estéril descartada en las etapas de concentración es espesada y el sólido decantado da origen a un relave, que luego es bombeado y transportado mediante tuberías de polietileno de alta densidad, que descargan en sucesivos cajones de caída (drop box), hasta alcanzar un Estanque Mezclador-Desaireador (EMD), donde el relave es mezclado con agua de mar. Ello, con el objetivo de conferirle la gravedad específica necesaria para evitar la boyantez que produce la diferencia de densidad entre el agua dulce y el agua de mar. En dicho estanque, además, se eliminan las burbujas de aire que se pudieron haber incorporado al relave a lo largo del sistema de transporte. La mezcla del EMD (relave-agua de mar) es descargada al mar, siendo impulsada por 2 bombas que operan en forma alternada.

FIGURA 3-5: ESTANQUE MEZCLADOR – DESAIREADOR (EMD)



Fuente: CAP, 2016

De este modo se obtienen los relaves de la Planta de Pellets de Huasco, los que consisten en una suspensión de sólidos en líquido, cuya distribución granulométrica está mayormente compuesta por partículas finas (42 a 52 % bajo un tamaño de 7,5 μm). En términos generales las partículas del relave de la Planta de Pellets, son en 99% especies minerales que por su composición mineralógica (filosilicatos, inosilicatos) son insolubles en condiciones ambientales subacuáticas.

Las muestras de relave presentan bajo contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro (magnetita, hematita, goethita, limonita), con porcentajes que están en el rango de 4,67 a 7,46%, siendo sus constituyentes mayoritarios los anfíboles, feldespatos y clorita. La pirita está presente como mineral en trazas, no superando el 0,5% y la calcopirita no supera el 0,08%. Estas características se confirman en las 3 contramuestras de relave obtenidas en muestreo realizado por SUMIRCO (SUB-1, SUB-2 y SUB-3) con motivo del estudio FIPA 2015-11.

Las fases minerales determinadas no reportan la presencia de los elementos no esenciales As, Hg, Cd, Ni y Pb. Las concentraciones de los elementos químicos contenidos en las muestras de relaves se presentan en la Tabla 3-1 siguiente.

TABLA 3-1: CONTENIDO DE CIERTOS ELEMENTOS MAYORITARIOS, DEBIDO A SU OCURRENCIA Y PORCENTAJE EN PESO EN LAS MUESTRAS DE RELAVE (2016)

Elemento (% peso)	Muestras					
	SMA1	SMA2	SMA3	SUB1	SUB2	SUB3
Al	3,09	3,00	3,19	3,63	3,52	3,16
Ca	4,13	4,12	4,21	3,32	3,21	3,49
Cl	0,06	0,06	0,06	0,03	0,02	0,03
Cu	0,49	0,14	0,19	0,14	0,35	0,09
F	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
Fe	12,17	12,75	12,80	13,90	13,27	12,89
K	0,53	0,54	0,55	0,54	0,59	0,57
Mg	7,22	7,18	7,33	7,46	6,94	6,89
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Na	3,05	3,16	3,05	2,89	2,85	3,09
P	0,51	0,45	0,52	0,21	0,19	0,25
S	0,31	0,32	0,33	0,29	0,31	0,46
Ti	0,87	0,87	0,93	1,90	1,58	1,47

Fuente: Elaboración Propia en base a Informe Mineralógico y Mineraloquímico (GEOCRONOS, 2016)

Finalmente, se debe indicar que la descarga máxima de relaves autorizada es de 5.000 toneladas diarias, expresadas como peso seco en base al promedio anual.

4 Análisis Propuesta de Trabajo e Informe final FIPA 2015-11, preparados por SUMIRCO E.I.R.L (Dr. Bernhard Dold)

Este Capítulo presenta una síntesis de los principales hallazgos que identificaron los especialistas, respecto de la revisión de la propuesta metodológica y del informe final del “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”; el detalle de los resultados, análisis y conclusiones por la revisión realizada por los especialistas, se encuentra en el Anexo 2, donde se adjuntan los informes completos de los expertos.

Los especialistas que revisaron la propuesta de trabajo de SUMIRCO y el informe final del “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos” **concluyen que tanto la propuesta metodológica, como los resultados obtenidos no pueden considerarse como representativos de los procesos que se han querido simular.** El juicio anterior se basa tanto en la escasa representatividad de los materiales ensayados, como en la nula relación que existió entre las condiciones de laboratorio (simulación) y las condiciones específicas del

fondo marino en la zona propuesta para la descarga. También se destaca la falta de un análisis con relaves reales, y la no inclusión tanto en los ensayos como en los modelos de la caracterización específica del medio marino en la zona de los potenciales vertidos. Ello, sin considerar la falta de información de respaldo y la baja representatividad del modelo empleado. En este sentido, los revisores concuerdan que los resultados obtenidos no pueden considerarse como una referencia para la toma de decisiones en la evaluación ambiental de un proyecto de depositación de relaves.

Los principales argumentos que sustentan esta recomendación se detallan a continuación.

4.1 Revisión de la Metodología de Investigación de la Propuesta de Estudio

La revisión realizada por Tracy Schimmield PhD (SAMS) y por los profesionales de SRK, Marcela Curotto y Joaquin Salas, a la propuesta metodológica de investigación que propuso SUMIRCO para el desarrollo del estudio en cuestión, evidenció carencias y/o debilidades, siendo las principales las que se detallan a continuación:

1. Se advierte que los experimentos diseñados en base a mono-minerales (magnetita, hematita y goethita), cuyo objetivo fue determinar los elementos liberados desde los minerales, en las condiciones marinas de depositación, no representan la composición de los relaves mineros, los que en la realidad tienen una composición mucho más compleja (los mono-minerales son solamente un componente menor de los relaves) y tienen propiedades distintivas (estado de oxidación y pH diferentes). Debido a estas diferencias, cualquier extrapolación a partir de mono-minerales involucra un grave error. Por lo tanto, cualquier resultado debe ser interpretado con precaución.
2. El análisis de los mono-minerales, utilizando XRD y EMP, si bien permite una descripción de su mineralogía y geoquímica (dado que los mono-minerales de óxido de hierro son hematita y magnetita), no son representativos de la mineralogía de los relaves mineros de la Planta de Pellets ya que la mayor parte de la fase sólida del relave está formada por silicatos. El análisis para determinar el potencial de lixiviación de los relaves mineros de la Planta de Pellets, sólo proveerá información limitada, por lo cual no se pueden obtener conclusiones concretas a partir de estos experimentos.
3. Por lo anterior, se enfatiza en que los experimentos se debieron complementar con muestras de relaves mineros reales, debiendo estas muestras ser tomadas directamente en el punto de descarga al mar. Los minerales de otras operaciones mineras (que fueron utilizadas en este estudio) son diferentes en su composición; el mineral, los procesos productivos y el ambiente de disposición del relave son específicos al sitio y deben ser tratados de esa manera. Además, la correcta recolección y almacenamiento de las muestras de los relaves mineros es imperativo y debe ser considerado cuidadosamente al muestrearlos. La recolección y almacenamiento inadecuados puede hacer que los experimentos posteriores sean inservibles, debido a que es

probable que la química de los relaves mineros sea alterada con anterioridad a que los experimentos tengan lugar.

4. Respecto de los experimentos de lixiviación secuencial, se concluye que el análisis mediante ICP-AES e ICP-MS es la técnica correcta para determinar la composición de elementos. Pero se debe garantizar un control de calidad, asegurado mediante la calibración bajo normas internacionales. Por ello se recomienda que el método analítico sea conducido preferentemente por un laboratorio acreditado bajo una norma internacionalmente reconocida, señalando, además, que en el estudio debe detallarse como mínimo un estándar de análisis y aseguramiento de la calidad normado con estándares robustos. Esto es vital ya que las cantidades de metales en el agua de mar son bajas, y el hecho de asegurar la precisión e información correcta, son críticos para asegurar la repetitividad, y garantizar la robustez de los supuestos. En tal sentido, se advierte que procedimientos incorrectos pueden conducir a un cambio en la química de los relaves, con un posible cambio en la especiación de los elementos, entregando resultados poco fiables.
5. Se observa que en la metodología propuesta no hay ninguna mención a la repetición de los análisis; sin embargo, para que estos resultados tengan algún sentido, se considera importante que los análisis sean duplicados o triplicados, permitiendo una completa comprensión de los errores asociados a las técnicas que están siendo utilizadas. Se debe realizar la cantidad de pruebas suficientes para asegurar que se puedan realizar análisis estadísticos válidos de los resultados.
6. Durante el régimen de lixiviación secuencial, los relaves deben ser expuestos a condiciones lo más parecidas posible a aquellas que experimentarán en la columna de agua en el sitio de la descarga; cualquier cambio (uso de agua pura y agua de mar sintética) afecta las tasas cinéticas de las interacciones minerales, entregando resultados que no representan la situación real.
7. Para evaluar la influencia de las bacterias reductoras de hierro marino en disolución, es importante conocer las especies reales que existen en el sitio de descarga (Ensenada Chapaco) y, en caso de que las especies propuestas no se encuentren presentes, se debe hacer la aclaración.
8. Respecto de los resultados del modelamiento, para que éstos sean válidos es imperativo que existan datos precisos respecto de todas las variables requeridas, y la seguridad de que el modelo puede enfrentar las variables ambientales y químicas que se le pide simular. Cualquier supuesto del modelamiento debería estar respaldado por observaciones del ambiente de sedimentos/agua del mar donde los relaves son vertidos.
9. La simulación de las condiciones de disposición del relave a 800 m de profundidad es difícil de recrear en el laboratorio (efectos de presión difíciles de reproducir). Los experimentos de celdas cerradas pueden entregar algunas respuestas, pero arrojarán márgenes de error, ya que no es posible recrear las condiciones reales exactamente.
10. Los experimentos entregan datos empíricos, por lo que los efectos tóxicos de cualquier lixiviación potencial a partir de estos experimentos solamente pueden inferirse. Por ello se recomienda realizar experimentos eco-toxicológicos plenos para evaluar los impactos de cualquier lixiviación.

11. A fin de superar las limitaciones de los experimentos de laboratorio, se considera más apropiado realizar un estudio empleando testigos sedimentarios que contengan sedimento y relaves naturales del sitio de disposición.
12. Se observó que la herramienta numérica elegida para la implementación de los cálculos de transporte reactivo (RETRASO; Saaltink et al., 1998) podría no ser la más idónea para este tipo de simulaciones, ya que dicho código fue desarrollado para simular transporte reactivo en medios acuíferos porosos, con flujos y cinéticas típicas de este medio. En este sentido, podrían presentarse problemas de convergencia en los cálculos, o requerir tiempos de simulación no realistas.

En síntesis, respecto de la propuesta de metodología del estudio, los especialistas consultados recomendaron una reformulación de la propuesta que incluyera (1) un modelo conceptual de los procesos que pueden tener lugar por la depositación submarina de los relaves; (2) una lista de los alcances y exclusiones del proyecto; (3) las metodologías en detalle para los ensayos analíticos; (4) la inclusión de los estudios que se han desarrollado para la caracterización de los relaves de CAP y el medio marino donde se tenía prevista la depositación; (5) los resultados del Plan de Vigilancia Ambiental, y (6) una propuesta para el equipo de profesionales de la Oceanografía y Biología Marina que participaran en el proyecto. Específicamente, en lo referente a los modelos numéricos, se requiere un mayor detalle en las especificaciones del código escogido para los cálculos, el tipo de modelos conceptuales que se iban a implementar, los métodos de calibración de los modelos que se iban a aplicar, y las actividades que serían necesarias para preparar la herramienta de simulación escogida y la base de datos.

Por todo lo expuesto, y considerando que el estudio se llevó a cabo sin corregir las falencias detectadas en esta primera revisión, se puede concluir que las tareas planteadas en la metodología no fueron las adecuadas para dar respuestas a la evaluación del impacto ambiental de la disposición profunda de relaves de la minería del hierro. Dichas tareas no garantizan la representatividad del estudio en lo referente al material que se propuso ensayar, como tampoco las condiciones ambientales que fueron implementadas en los ensayos y los modelos numéricos. El ambiente de la disposición no fue suficientemente caracterizado, según lo especificado en la propuesta, y no se consideró el alcance del estudio de dicha caracterización. Por otra parte, el uso de material para los ensayos experimentales no correspondía a muestras de relaves representativas de la faena minera que se pretendía evaluar y la utilización de muestras mono-minerales o de rocas de diferentes orígenes, tampoco facilita la validación de sus resultados.

De la revisión de los especialistas, sobre este aspecto, finalmente se concluye que la propuesta técnica y, en especial, la metodología presentada por SUMIRCO adolecen de la rigurosidad y el detalle que se esperaría para un estudio de este tipo. A nivel formal, no se justifican adecuadamente decisiones sobre las metodologías analíticas y no se incluyen los modelos conceptuales que debieran sustentar el estudio. También existen contradicciones, reiteraciones y “lagunas” o vacíos en la formulación de las tareas, y no se hace ninguna mención a las limitaciones y exclusiones del estudio.

4.2 Revisión de Pares del Informe Final

Las opiniones de los profesionales de SRK, Marcela Curotto y Joaquín Salas y de los académicos Anny Rudolph y Ramón Ahumada, respecto de los resultados del Informe Final se han organizado en base a:

- Comentarios Generales.
- Análisis de Aspectos Específicos.
- Conclusiones y Recomendaciones.

4.2.1 Comentarios Generales

1. Respecto de lo declarado en el título del Proyecto: ***“Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”***, se concluye que **no hay correlación entre lo declarado en el título del Proyecto FIPA 2015-11 y lo efectivamente realizado en el proyecto⁵**.

El Informe indica que se analizó en laboratorio el efecto de una bacteria, *Shewanella loihica*, (que no se indica si está presente en las costas de Huasco), sobre muestras de minerales correspondientes a distintas minas (sólo una muestra correspondió a la Mina Los Colorados), mono-minerales y sólo una muestra de relave de CAP Minería.

Sobre la base del análisis del Informe, los investigadores concluyen que, para responder a lo comprometido por éste, se debiera haber realizado una caracterización en detalle de los relaves actuales y futuros (objeto del estudio), que podrían ser depositados en la Ensenada Chapaco en un contexto de DSTP⁶, y haber estudiado las condiciones físico químicas y biológicas del fondo marino específicas del área en la que actualmente se realiza la descarga de relave y del área en que se tienen proyectados los vertidos en el futuro, para lo cual el estudio debiera haber incluido al menos lo siguiente:

- Tipo y contenidos de óxidos de Fe y sulfuros de los relaves.
- Condiciones redox de las aguas y los sedimentos en contacto con los relaves depositados.
- Tipo de comunidades bacterianas autóctonas del lugar.
- Tipos y contenidos de nutrientes, para las comunidades bacterianas locales que se consideren relevantes, desde el punto de vista del desarrollo de las reacciones de disolución reductiva de óxidos de Fe.

⁵ Comentario 1.1 del capítulo 4.1 Informe Comentarios sobre el Informe FIPA 2015-11 “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos” Anny Rudolph y Ramón Ahumada

⁶ DSTP (Deep Sea Tailings Placement), corresponde a la definición internacional de una descarga submarina profunda de relaves, es decir a más de 100 m de profundidad.

- Desarrollo y papel de la materia orgánica en el relave depositado, tanto en la etapa operativa de los vertidos, como durante el cese de dicha actividad.

Los investigadores especialistas coinciden en que el Informe revisado no presenta una caracterización adecuada de todo lo señalado previamente, en especial de los minerales empleados, de las condiciones ambientales y de los parámetros del modelo, por lo cual sus resultados no pueden considerarse representativos de los procesos geoquímicos que puedan darse en el sector específico de la zona de los vertidos.

2. Los revisores coinciden en que **el uso de parámetros claves para el control de las cinéticas de los mecanismos de la disolución reductiva de los óxidos de Fe, y la liberación de metales traza a las aguas marinas, se ha hecho de una manera simplista**, lo que se considera claramente insuficiente teniendo en cuenta la relevancia e implicancias del estudio. Los mismos ejecutores del Informe recomiendan un estudio de detalle de estos temas. Sin embargo, de la revisión se concuerda en que esto debiera haber formado parte del estudio, ya que los cálculos y las conclusiones formuladas pierden representatividad y rigurosidad, debido a la indeterminación de algunos de estos parámetros, generando incluso confusión en la interpretación de los resultados analíticos.

A continuación se señalan algunos de los argumentos que fundamentan lo señalado (para análisis completo ver Informes en Anexo 2):

- 2.1. La bacteria utilizada en el estudio no corresponde a una cepa de las comunidades autóctonas de la zona de estudio. En efecto, se utilizó *Shewanella loihica* (DSMZ 17748) que fue adquirida de la colección alemana de microorganismos y cultivos celulares (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, DSMZ). Se trata de una gammaproteobacteria de la familia Shewanellaceae, capaz de realizar la reducción de óxidos de hierro acoplada a la oxidación de compuestos orgánicos simples. Debido a sus especiales características se utiliza en biorremediación de metales y desechos radiactivos (<http://www.soest.hawaii.edu/GG/HCV/loihivents.html>; Klein, 1982).

En este estudio, ha resultado clave para el desencadenamiento de las reacciones descritas, el uso de esta cepa bacteriana en presencia de lactato como nutriente, a pesar de que en la propuesta metodológica se proponía usar acetato. A pesar de la importancia de estos resultados, el estudio no proporciona ningún antecedente que valide la representatividad de ambos factores como condiciones comunes en el medio marino donde se realiza la depositación de los relaves. Sin esta justificación, la representatividad del estudio como criterio para la evaluación medioambiental de DSTP pierde validez.

- 2.2. En relación con los medios utilizados para estudiar las reacciones producidas en los sedimentos y columna de agua en laboratorio, no se utilizó sedimentos marinos costeros, ni se utilizó agua de mar del área de estudio. Se utilizó como medio para la reacción agua pura (SUPRAPUR[®]) y agua de mar sintética. No se entiende el objetivo del ensayo realizado con agua pura y no se realiza ninguna discusión de los resultados, o un análisis de sensibilidad, aplicando agua marina o desionizada. Dado que el agua de mar es una matriz compleja, la metodología elegida para el estudio hace que los resultados presenten baja representatividad respecto de los objetivos del proyecto FIPA.
3. Es necesario destacar que **se emplea gran cantidad de recursos en la caracterización de materiales que después no han contribuido a los resultados del estudio**⁷, y se han ensayado materiales y escenarios que tampoco han sido integrados en el análisis de impactos. Sin embargo, los parámetros que se han considerado clave para el desarrollo de las reacciones no han sido suficientemente caracterizados, y no se ha estimado conveniente realizar análisis de sensibilidad para evaluar la influencia de su variabilidad en los resultados obtenidos.
4. Se debe destacar el **desacoplamiento que se observa entre los análisis de laboratorio y los modelos numéricos desarrollados**⁸, cuando se esperaría una retroalimentación entre las metodologías y los modelos conceptuales, por una parte, y los resultados obtenidos por la aplicación de ambas técnicas, por otro.
5. Se considera relevante que **el estudio no haya incluido a especialistas oceanógrafos, biólogos ni ecotoxicólogos marinos**⁹ que hayan podido colaborar en (1) la caracterización físico-química del medio marino (en la implementación de las mismas condiciones de los ensayos analíticos, o en las condiciones de contorno de los modelos numéricos); (2) la caracterización de las comunidades bacterianas locales y disponibilidad y tipo de nutrientes existentes en las condiciones de las costas chilenas y, sobre todo, (3) la evaluación de los impactos sobre la biota marina, a partir de los resultados obtenidos del estudio. Adicionalmente, en la definición de actividades realizadas por los participantes se señala que la revisión de la literatura científica, se realiza en un Curso SubPesca, a cargo de Dr. Dold, SUMIRCO y todo el grupo¹⁰.

⁷ Ver cita de último párrafo página 11 del Capítulo Análisis Crítico del Proyecto Desarrollado por SUMIRCO, SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

⁸ Ídem anterior.

⁹ Ambos revisores coinciden en esta crítica: citas en página 4 y 11 informe SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review y comentario 3.1.6 en Conclusiones Finales del Informe de Anny Rudolph y Ramón Ahumada.

¹⁰ En el informe final se señala en la página 13 lo siguiente: vii) Revisión de la literatura científica, Curso SubPesca, Presentaciones, Dirección y gestión del proyecto (Dold, SUMIRCO y todo el grupo).

6. Siguiendo con lo indicado en el título “.....**que afecten los recursos hidrobiológicos marinos**”, cabe señalar que no se realizaron estudios del efecto de los relaves sobre especies marinas como se deduce de lo indicado en el título. De hecho, no hay estudios de ecotoxicidad, bioensayos de toxicidad, estudios con marcadores o estudios con especies bioindicadoras; tampoco hay estudios del contenido de metales en tejidos con especies marinas litorales, por lo cual no se cumple con el objetivo de evaluar cómo se afectarían los recursos hidrobiológicos marinos. Sin embargo, y sin mayor fundamento, **se formulan conclusiones alarmistas**, las que se consideran *no tienen sustento científico al respecto*¹¹.
7. Se establece como primer objetivo de trabajo: “**Realizar una recopilación bibliográfica de determinadas descargas de relaves mineros que afectan al medio marino**”, incluyéndose, como parte de los resultados del estudio, la revisión bibliográfica sobre los mecanismos de disolución reductiva de óxidos de Fe. Sin embargo, no se presentan los mecanismos termodinámicos responsables de la disolución reductiva de los óxidos de Fe. **Dicha revisión adolece de una síntesis que indique su aplicabilidad como antecedentes del proyecto**¹² y en definitiva, no aporta al estudio desarrollado.
8. El segundo objetivo de trabajo indica: “**Proponer un diseño experimental en laboratorio que considere ensayos de determinados tipos de descargas de relaves mineros y bajo diferentes condiciones de los sedimentos del medio marino (como % MOT, potencial redox (Eh), granulometría)**”. En suma, el diseño experimental consistió en analizar, en condiciones de anoxia (“caja de guantes y N₂ (gas)”), el efecto de una bacteria (*Shewanella loihica*) sobre diversas muestras de mono-minerales y sólo una muestra de relave, a 10 y 20°C, utilizando como medio agua pura y agua de mar sintética. **Considerando que no hubo ensayos con sedimentos marinos, no hay registros de potencial redox de los sedimentos, ni de las mediciones de MOT comprometidas; por lo tanto, no se cumplió con este objetivo del estudio**¹³.
9. El tercer objetivo específico indica: “**Aplicar el diseño experimental propuesto, analizando los componentes que son liberados a la columna de agua y sedimentos marinos, desde las descargas analizadas**”. Debido a que no se cumplió con el objetivo específico 2 (ya que no se ejecutó “el diseño experimental con distintos tipos de relaves y bajo diferentes condiciones de los sedimentos del medio marino (como % MOT, potencial redox (Eh), granulometría)), tampoco pudo ser implementado el objetivo específico 3; esto es: “... *analizar los componentes que son liberados a la columna de agua y sedimentos marinos*”¹⁴.

¹¹ Tercer párrafo, página 12 informe SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

¹² Ver comentario 1.8 página 5 del Informe de Anny Rudolph y Ramón Ahumada.

¹³ Ver comentario 1.6 página 6 del Informe de Anny Rudolph y Ramón Ahumada.

¹⁴ Ver comentario 1.7 página 6 del mismo informe.

10. En el cuarto objetivo de trabajo se declara: ***“Evaluar la especiación y biodisponibilidad de los componentes liberados al medio, tanto en agua como en sedimentos”***. Al respecto, ello **no fue desarrollado experimentalmente**. Sólo se entrega escasa y no especializada revisión bibliográfica, tanto en biodisponibilidad como en la especiación y, en general, sobre el ambiente marino en la zona. Se hacen presunciones generales, lo que resulta falso y poco riguroso, ya que antecedentes relevantes para comprender este proceso se omiten¹⁵.

Los autores coinciden en la existencia de demasiadas incertidumbres, tanto en la caracterización como en la representatividad de materiales, en la metodología de los ensayos, y en la simulación de los procesos; todo ello no permite que los resultados obtenidos puedan ser considerados cuantitativamente representativos de los procesos de depositación del relave de la Planta de Pellets de Huasco en la Ensenada de Chapaco.

Por lo anteriormente expuesto, llama la atención que, con todas estas limitaciones del estudio, se formulen conclusiones alarmistas y que están pobremente sustentadas en lo técnico, enfatizando solo los procesos que maximizan las tasas de liberación de metales, considerando solo las reacciones de fijación de dichos metales, como co-precipitación y/o sorción, y omitiendo los fenómenos de dispersión de dichos componentes en las aguas marinas.

4.2.2 Análisis de aspectos específicos

Los investigadores concuerdan en que el Informe presenta deficiencias importantes en los siguientes aspectos críticos para valorar sus resultados:

Sobre la caracterización de las muestras

1. En relación con las muestras, no se ha presentado en el informe del proyecto toda la información referente a la caracterización geoquímica de las muestras¹⁶. Hubiera sido conveniente caracterizar geoquímicamente las muestras (al menos las muestras de roca y relave) siguiendo los criterios definidos por las guías MEND y GARD, y recomendados por la “Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras” (2015) de SERNAGEOMIN.
2. Respecto de la toma y selección de las muestras se indica; (p.21) *“Muestras de mano de los yacimientos suecos Kiruna (K1), Malmberget (M1) y del cinturón de óxidos de hierro de Chile (Tb1 01, V10, V6, mf-6-c y COL)”*. El muestreo presenta falta de rigurosidad, ya que no se indica en que consiste la

¹⁵ Ver comentario 1.8 del mismo informe.

¹⁶ Observación sobre caracterización de las muestras (punto 4.1, página 12) SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

metodología utilizada y denominada “Muestras de mano”¹⁷. Del informe se deduce que se tomó sólo una muestra de dichos yacimientos, lo que no es representativo del comportamiento geológico de un yacimiento minero.

3. Otra toma de muestra fue, textual, “*Asimismo, en Julio de 2016 “se consiguió” una muestra del yacimiento de Los Colorados*” (resumen ejecutivo, 2do párrafo). Este procedimiento de muestreo presenta una importante falta de rigurosidad, ya que “*conseguir*” no es un procedimiento científico reproducible¹⁸. Cabe señalar que no hay aclaración respecto del por qué el Proyecto o el Dr. Dold, su coordinador, no solicitó formalmente la toma de muestra del yacimiento Los Colorados y, por lo tanto, se desconoce de dónde y cómo se obtuvo la muestra, ya que no se informa un protocolo de muestreo. Por otro lado, la mineralización de hierro en dicho yacimiento tiene 3 tipos: macizo, brechoso y diseminado, cada una de los cuales tiene su particularidad desde el punto de vista mineraloquímico.
4. Sobre la toma de muestras empleada en el estudio es posible aseverar que éste no especifica la cantidad de muestras recolectadas, ni las condiciones de traslado (cadena de custodia), almacenamiento, ni por cuanto tiempo; tampoco se especifican posibles mecanismos de conservación, lo que impide obtener la trazabilidad de las muestras.
5. No se indica número de réplicas. La mayor parte de los análisis del estudio son cualitativos y en los trabajos cuantitativos relevantes no se muestra el error analítico de la información obtenida, lo que genera una importante incerteza acerca de si falta la información de la desviación estándar al trabajar con más de un dato o solo se trata de resultados obtenidos de ensayos únicos y puntuales. Cabe señalar que los valores se dan preferentemente como valores enteros, a pesar que en algunos casos se indica un número de réplicas determinado¹⁹.

Sobre el Diseño de las Metodologías Analíticas

Los investigadores que evaluaron el estudio señalan que, en la forma que está planteado, no cumple con los estándares mínimos de rigurosidad y detalle de la metodología utilizada en esta investigación, que permitiera su reproducibilidad y la refutabilidad, condiciones exigibles a cualquier estudio que se rige por el método científico. A saber:

1. No existe un análisis de representatividad de los parámetros fijados en los ensayos (tipo y concentración de las comunidades bacterianas y nutrientes).

¹⁷ Comentario 1.10 página 7 de Comentarios sobre el informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

¹⁸ Ídem comentario anterior.

¹⁹ Comentario 1.12 y 2.16 de e Comentarios sobre el informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada.

2. Ausencia de un plan de trabajo²⁰ donde se contemple un análisis de sensibilidad de los resultados respecto a parámetros que han resultado fundamentales para el desarrollo de las reacciones de disolución reductiva de los óxidos de Fe, como son el estado redox de la solución, y el tipo y concentración de comunidad bacteriana y nutrientes.
3. No se hace un análisis de las condiciones físico-químicas del medio específico de la depositación, como salinidad, redox, temperatura o presión. Esta última es una variable que no se menciona en ninguna parte de la propuesta o del informe del proyecto, a pesar de que constituye una de las principales variables termodinámicas y de que su valor debe variar sustancialmente en las condiciones de la depositación (a 200-800 m de profundidad) respecto de las condiciones simuladas en el laboratorio²¹. Al igual que la función “presión”, la variable “tiempo” tampoco es mencionada o discutida en la metodología analítica implementada, en los cálculos numéricos, o en la discusión de los resultados obtenidos.
4. No se explican los criterios para determinar la duración de los ensayos (variable en función del ensayo), y si los resultados obtenidos son representativos de un estado transitorio o estacionario de las reacciones²². Únicamente, en el caso del ensayo biótico con ferrihidrita, se especifica que la reacción se detiene por agotamiento del lactato utilizado como nutriente para el metabolismo de la *Shewanella loihica*.
5. El uso de agua pura, de una bacteria con características muy especiales y de mono minerales invalidan la posibilidad de analizar científicamente los resultados del experimento de reducción desasimilativa de compuestos de hierro y confirma que las condiciones del experimento están muy lejos de la realidad²³.
6. Dado que todo trabajo científico debe realizarse con al menos 3 réplicas, los resultados deben indicarse con sus respectivas desviaciones estándares (muestra y 3 réplicas, 4 resultados) y el análisis estadístico, condición imprescindible para visualizar si los resultados del proyecto son significativos. Teniendo en consideración que las concentraciones de hierro total en agua son muy bajas, esta rigurosidad del análisis es fundamental para validar sus resultados²⁴.
7. Los modelos conceptuales utilizados no se encuentran adecuadamente fundamentados y los instrumentos de cálculos numéricos no se presentan señalando sus limitaciones para el análisis. Se ha

²⁰ Ver párrafo 4° página 15 de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review

²¹ Ver párrafo 3° página 14 de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

²² Ver tercer bullet de Diseño Metodologías Analíticas de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

²³ Comentario 1.9 de Comentarios Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada.

²⁴ Comentario 1.12 de Comentarios Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada.

implementado un modelo de flujo y transporte 1D en difusión que, claramente, no puede simular las condiciones del transporte de solutos en el medio marino²⁵.

8. En la Tabla 4 se incluyen reacciones primarias y formulaciones cinéticas, sin indicar las condiciones de las reacciones y si las constantes indicadas son válidas en condiciones marinas²⁶.
9. El grado de estabilidad termodinámica de las fases metálicas, depende de las condiciones ambientales: presión, temperatura, fugacidad de oxígeno y CO₂, entre otros. Se está modelando para un ambiente marino con 200 y más metros de profundidad²⁷. Nada se indica de lo que ocurre a 800 m de profundidad.

Sobre las condiciones del trabajo en laboratorio

1. Una aparente debilidad de las técnicas analíticas es la diferencia en las implementaciones de las condiciones redox y de pH en los ensayos, por lo que no es posible determinar cuantitativamente la influencia de determinados parámetros sobre los resultados²⁸.
2. Tampoco se adjuntan los certificados de laboratorio de los ensayos²⁹.
3. No se indica cómo se controló el potencial redox (Eh), ni otras variables tan significativas y que influyen en un ambiente reductor como son: pH, T°, presión total, presiones parciales, etc., variables significativas para caracterizar un ambiente reductor³⁰.

Sobre los Resultados y Análisis de los Impactos

1. La excesiva simplicidad de los modelos y el desacoplamiento de procesos (equilibrios redox, mecanismos de transporte en las aguas marinas, entre otros) hacen que los resultados obtenidos no puedan ser representativos ni del material que se tendría previsto depositar, ni de las condiciones ambientales en el lugar de la depositación, ni de la complejidad de los procesos que se deberían simular³¹.

²⁵ Observación al Modelo Conceptual Hidrológico, Físico y Geométrico de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

²⁶ Comentario 2.13 de Comentarios Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

²⁷ Ídem anterior.

²⁸ Ver Implementación Condiciones de Laboratorio de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

²⁹ Comentario 1.13 de Comentarios Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

³⁰ Comentario 1.14 de Comentarios Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

³¹ Ver Crítica a los resultados y análisis de impactos de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review

2. Se indica reiteradamente en el informe: “...**depósito de los relaves de la planta de pellets de óxidos de hierro (principalmente hematita y magnetita o CAP magnetita)**”. Esta es una afirmación incorrecta e induce al lector a aceptar una premisa errónea; esto es, que los relaves estarían compuestos principalmente de óxidos de hierro (magnetita y hematita). Se ha estudiado el relave y se ha documentado (Adenda 1 del EIA, Anexo 1.31 Aspectos Geológicos Mineralógicos y Geoquímicos del Relave de Planta de Pellets)³² que cinco (5) minerales constituyen más del 70 % de la fase sólida de los relaves, y son clinocloro, pargasita potásica, actinolita, ferrita de magnesio, Anortita, siendo el grupo de los silicatos constituyen la clase más abundante (GEOCRONOS, 2014, Knipping et al., 2015). Tal como se indica en los antecedentes la proporción de magnetita y hematita constituyen fracciones minoritarias que fluctúan entre el 4 y 7%.
3. Respecto de la **revisión bibliográfica sobre la magnetita** se cita en el Informe (p.46) que experimentos de meteorización electroquímicos en ambiente anóxico de magnetita han sugerido por modelación, tiempos de residencia de granos de magnetita de tamaño arena de 107 años a pH 7 (cita). La cinética de la disolución reductiva de magnetita se estimó en la Ría de Vigo, España, siendo ésta dependiente del aporte de materia orgánica (vida media de 50-1000 a). El informe no hace ninguna referencia de que esta información confirma que la magnetita en ambientes sedimentarios es muy estable.³³ No se explica por qué no se citaron otros trabajos científicos que lo confirman y que están disponibles.
4. Se indica en el Informe: “**el experimento 4.4.1 con *Shewanella loihica* se modificó a raíz de la caracterización de la muestras de relaves CAP, que mostraron una relativamente baja concentración de óxidos de hierro**”.
- Esta modificación realizada al experimento al utilizar las muestras de relave ratifica lo informado por la empresa CAP-Minería, respecto del bajo contenido de metales de los relaves que son depositados en el fondo marino; no obstante ello, no se incluye en la discusión de los resultados del proyecto FIPA³⁴.
5. Uno de los análisis a la muestra analizada -y que correspondería a los relaves de la Planta de Pellets de Huasco, que se identifica y analiza en el proyecto como “CAP (magnetita)”- considera procesos de redisolución reductiva catalizados por la presencia de la bacteria *Shewanella loihica*; ésta muestra presentaría liberaciones de Fe del orden de 600 ug/L (0,6 partes por millón). Es decir, la liberación de Fe desde la muestra identificada como relaves CAP correspondería a un resultado varios órdenes de magnitud menor que el mineral de magnetita analizado en el estudio i.e., 4.000 ug/L (4 partes por millón) y que los ensayos realizados con monominerales de Fe analizados, por citar algunos: hematita

³² Corresponde al Anexo 1.31 de la Adenda 1 del EIA “[Actualización del Sistema de Depositación de Relaves de Planta de Pellets](#)” presentado el 29/06/2016.

³³ Ver comentario 1.17 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada.

³⁴ Ver comentario 2.1 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

14.000 ug/L (14 partes por millón) o ferrhidrita 80.000 ug/L (80 partes por millón) (gráfico 20, pág. 56)³⁵.

Estos resultados confirman el bajo contenido de metales de los relaves de la empresa CAP Minería que son depositados en el fondo marino; no obstante ello, estos antecedentes no se utilizan en la discusión de los resultados del proyecto FIPA.

6. El Informe señala, textual, *“En la propuesta original del proyecto se indicaba la utilización de acetato como fuente de materia orgánica para los experimentos bióticos, no obstante, la revisión de la literatura sobre la eco fisiología de Shewanella loihica mostró el lactato como una fuente de materia orgánica más eficiente para la reducción de los óxidos de hierro”*. A continuación se indica *“Se testearon ambas fuentes (lactato y acetato) con un cultivo bacteriano, comprobando una mayor eficiencia del lactato sobre el acetato. Además, el uso de lactato permite evaluar la actividad bacteriana vía la producción de acetato”*. Al respecto, no se entrega en el informe antecedentes de dicha comprobación³⁶.
7. Además el Informe señala, textual, lo siguiente: *“En la propuesta original del proyecto se indicaba la realización de un test con la bacteria Shewanella loihica, junto con magnetita y sin fuente de carbono (Exp. 4.4.1). Este experimento se modificó a raíz de la caracterización de las muestras de relave CAP, que mostraron una relativamente baja concentración de óxidos de hierro en contraposición a la concentración de materia orgánica existente en el ambiente marino”*.
Esta afirmación ratifica la baja concentración de hierro de los relaves de CAP. En efecto, tal como se ha señalado en el informes de GEOCRONOS y GEA de la Universidad de Concepción, los relaves de CAP Minería están constituidos por minerales del grupo silicatos (anfíboles, feldespatos y clorita), y los óxidos de hierro son un constituyente menor (4 - 7%). Además, se debe indicar el rol que cumpliría la materia orgánica con: *“....la concentración de materia orgánica existente en el ambiente marino”*³⁷.
8. En la parte final de la pág. 57 del Informe se indica textual: *“Como se observa también en la Figura 20 y 21, todos los experimentos bióticos con los diferentes sólidos muestran concentraciones de Fe muy superiores a las alcanzadas en los experimentos abióticos y en los controles sin inóculo microbiano”*.
Esta afirmación confirma que, para que se produzca la liberación de hierro (por “disolución reductiva”) desde los minerales y en la muestra de relave en los 120 días en que se condujo el experimento, se requiere de la presencia de la bacteria Shewanella loihica en un medio de cultivo muy especial (Medio MD1 especificado en Informe pág. 33 y 34) y en condiciones especiales de temperatura. Dicho proceso no se observa en ausencia de la bacteria o “condiciones abióticas y en los controles sin inóculo microbiano”, ratificando la nula disolución de los óxidos férricos sin presencia de Shewanella loihica,

³⁵ Ver comentario 2.2 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

³⁶ Ver comentario 2.3 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

³⁷ Ver comentario 2.4 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

situación cercana a las condiciones reales o “in situ”. Esta situación nuevamente no se indica en las conclusiones del Informe³⁸.

9. Los investigadores que realizaron la evaluación crítica destacan la inexistencia de **información esencial que no está incluida**, por lo cual no es posible validar los resultados indicados. A saber:
 - a) Nada se indica respecto de si las constantes y/o ecuaciones indicadas en la tabla, son válidas en condiciones marinas³⁹. El grado de estabilidad termodinámica de las fases metálicas, depende de las condiciones ambientales: presión, temperatura, fugacidad de oxígeno y CO₂, entre otros. Se está modelando para un ambiente marino con 200 y más metros de profundidad.
 - b) Nada se indica respecto de la modelación a 800 m, que se comprometió en el proyecto FIPA⁴⁰.
 10. Se indica que **en todos los escenarios se liberaría arsénico (As)** en pequeña proporción 1,5 mg/día, indicando que es tóxico (pág. 77).

No se indica si la forma química en que se liberaría es estable, ya que ingresaría a un polielectrolito como el agua de mar. A este respecto, existen dos publicaciones en revistas científicas sobre la composición geoquímica de magnetitas provenientes de yacimientos de hierro chilenos: Nyström y Henríquez (1994) y Knipping et al. (2015). Los autores estudiaron texturas y composición geoquímica de los yacimientos de la Franja Cretácica Chilena, El Laco y Kirunavaara en Suecia, con el objetivo de establecer su posible origen genético. En lo relativo a los contenidos de metales en las magnetitas de la Franja Cretácica los autores indican que no detectaron presencia de Pb, As ni Hg⁴¹.
 11. Finalmente cabe destacar que la recomendación 6 señala “...**el lugar más seguro para la ubicación de los relaves de un yacimiento de tipo óxidos de hierro es en un ambiente oxidante sobre tierra (tranque de relaves con impermeabilización basal). En estas condiciones, los óxidos de hierro serán estables y no liberarán elementos trazas al medio ambiente**”.
- El cometario es extemporáneo, por cuanto no se deduce de ninguno de los tópicos investigados. Es una recomendación antojadiza que no tiene sustento en el contexto del informe realizado⁴².

³⁸ Ver comentario 2.9 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

³⁹ Ver comentario 2.13 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

⁴⁰ Ídem anterior y comentarios del modelo conceptual hidrológico de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review

⁴¹ Ver comentario 2.16 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

⁴² Ver comentario 2.19.2 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

5 Conclusiones y Recomendaciones

Los autores que han participado en esta revisión de pares, tanto de la propuesta técnica presentada por la Empresa Individual de Responsabilidad Limitada SUMIRCO E.I.R.L. (Bernhard Dold Sustainable Mining Research & Consultancy), como del Informe Final del “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”, elaborado por la misma empresa, concluyen que, analizados los aspectos técnicos aplicados en las metodologías analíticas y numéricas desarrolladas, sus resultados no pueden considerarse representativos de los procesos que han pretendido estudiar y, por lo tanto, no responde al objetivo solicitado por las instituciones públicas de *“Evaluar las reacciones que ocurren en sedimentos y columna de agua, por descargas de relaves mineros de distinto origen y que afecten la biota acuática marina, especialmente a los recursos hidrobiológicos y pesqueros”*.

Esta conclusión se fundamenta en que, desde el diseño hasta la implementación de los ensayos experimentales: 1) el material utilizado para los análisis no es representativo del objeto de estudio (uso de mono minerales no da cuenta de descargas de relave); 2) el medio donde se realizan los ensayos no cumple con la caracterización físico-químicas del agua de mar (uso de agua pura y agua de mar sintética, no corresponde a sedimentos y columna de agua del mar), y 3) se utiliza un microorganismo especializado en disolución reductiva de óxidos de hierro (bacteria *Shewanella loihica*), que no es característico del medio marino de Chile (la bacteria se obtiene a 1.300 m de profundidad en aguas termales de Hawai y está manipulada genéticamente para la remediación de suelos contaminados).

Asimismo, de la revisión realizada por estos especialistas, es posible concluir que esta investigación presenta sesgos gravísimos que invalidan la posibilidad de trasladar sus resultados a los procesos que se han querido simular; es decir, poder comprender cómo afectaría a la biota acuática marina (recursos hidrobiológicos y pesqueros) la descarga de relaves mineros al mar.

Este estudio presenta sesgos desde su planificación, ya que fue diseñado de manera tal que se obtuvieran los resultados esperados; ello explica la falta de justificación de algunos aspectos metodológicos que se destacan en la revisión: 1) la baja representatividad del material ensayado con respecto a los relaves, y 2) la no inclusión en los ensayos y en las modelaciones de la caracterización específica del medio marino en la zona de los potenciales vertidos⁴³.

Adicionalmente, es evidente el sesgo de la información científica presentada, considerando que toda la revisión bibliográfica de evidencia presentada corresponde a informes que van en la dirección de los resultados esperados y obtenidos, omitiendo otros antecedentes y no presentando ningún estudio que

⁴³ Ver Resumen Ejecutivo de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review.

demuestre resultados experimentales distintos, a pesar de estar disponibles en fuentes de publicación científica validadas. En general, (1) se pone énfasis en los procesos que maximizan las tasas de liberación de metales, (2) sólo se consideran a nivel conceptual las reacciones de fijación de dichos metales, como co-precipitación, y/o sorción, y (3) se omiten los fenómenos de dispersión de dichos componentes en las aguas marinas.

Las observaciones al diseño e implementación de los estudios experimentales, señaladas en la revisión de pares, confirman el sesgo en las condiciones de observación (nula relación entre las condiciones de laboratorio y las condiciones reales del fondo marino en la zona propuesta para la descarga), lo que, sumado a la ausencia de información que permita la reproducción y validación de sus resultados, debilita cualquier conclusión que intente explicar causalidad de los efectos de la depositación de relaves en el mar, ya que carece de validez científica.

En suma, es razonable inferir que se trata de un estudio, en el cual quienes realizan la investigación influyen en el diseño, metodología, implementación de experimentos y modelación, con el fin de arribar y/o representar un determinado resultado. Esto se confirma por cuanto en la interpretación de resultados, solo se focaliza en resaltar los posibles aspectos negativos del vertido de los relaves, sin presentar todos los resultados obtenidos por la misma investigación que indican ausencia de efectos negativos, lo cual evidentemente da cuenta de una intencionalidad y confirma la escasa rigurosidad del trabajo realizado.

Por todo lo anterior, la recomendación de la revisión de pares, realizada al Informe FIPA “Estudio de las reacciones producidas en sedimentos y columna de agua por descargas mineras que afecten los recursos hidrobiológicos marinos”, es que los resultados obtenidos no sean considerados como referencia para la evaluación ambiental de sistemas de depositación de relaves en el mar⁴⁴.

En caso que las autoridades quieran confirmar la calidad de los aportes de esta investigación, se recomienda que el informe final de este estudio sea formalmente remitido al listado de científicos chilenos que se han dedicado al estudio de los sedimentos en Chile (Dr. Juan Carlos Castilla; Profesor Nelson Silva; Dr. Juan Correa; Dr. F. Henríquez entre otros) para su evaluación⁴⁵.

Si las autoridades requieren una investigación científica de calidad que responda a sus interrogantes se recomienda lo siguiente (propuesto por equipo SRK)⁴⁶:

⁴⁴ Ver comentario 3.15 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada y ver primera conclusión de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review

⁴⁵ Ver comentario 3.15 de Comentarios al Informe FIPA 2015-11 de Anny Rudolph y Ramón Ahumada

⁴⁶ Ver capítulo Conclusiones y Recomendaciones de SRK Consulting: 07-2362-16: Peer Review

1. Recopilación de todos los antecedentes disponibles referentes a la caracterización geoquímica de los relaves de la Planta de Pellets, del medio marino en la Ensenada Chapaco, y de caracterización del mineral que prediga los futuros relaves.
2. Caracterización geoquímica de los relaves presentes.
3. Caracterización físico-química y biológica del medio marino que recibe los relaves vertidos.
4. Diseño de ensayos de laboratorio específicos con muestras de relaves representativas de la producción presente y futura de la Planta de Pellets, y que reproduzcan las condiciones ambientales anteriormente caracterizadas. Estos ensayos deben incluir variantes para los análisis de sensibilidad de las variables que se definan al efecto. Estos ensayos, como los de caracterización de las muestras de los relaves, deberían ser ejecutados en laboratorios debidamente certificados que permitan un seguimiento, día a día, de los ensayos por parte de los responsables del desarrollo del proyecto.
5. Como resultado de los ensayos de laboratorio se deben formular las leyes empíricas correspondientes a las cinéticas resultantes de las tasas de liberación obtenidas. Para esto se propone la modelización de los ensayos de laboratorio, tomando como parámetros de calibración los resultados obtenidos durante el seguimiento de los ensayos.
6. Con los residuos de los ensayos realizados, se recomienda implementar técnicas analíticas de caracterización geoquímica y mineralógica. Con esto, y tomando como valor de referencia la caracterización inicial de las muestras antes de los ensayos, se podrían identificar los procesos geoquímicos acaecidos en la muestra durante los ensayos, y confirmar las hipótesis realizadas mediante la interpretación de los resultados.
7. Posteriormente, se recomendaría seleccionar un código numérico y una base de datos que permita implementar las condiciones marinas en el sector de la depositación del material, con el objetivo de evaluar las concentraciones de las especies metálicas que pueden ser liberadas a las aguas durante las diferentes etapas de operación del depósito. También sería necesario seleccionar el equipo de modelización con experiencia en el uso de dicho código.
8. La evaluación de los resultados y el análisis de impacto tendría que ser realizado por un equipo de profesionales especializado en eco-toxicología marina.