

Relaves Mineros y sus Efectos en Salud, Medio Ambiente y Desarrollo Económico. Ejemplo de Relave en el Valle de Chacabuco-Polpaico.

Mining Tailings and their Effects on Health, Environment and Economic Development. Example of Mining Tailings in the Chacabuco-Polpaico Valley.

Dr. Andrei N. Tchernitchin¹
Leandro Herrera, (Ph.D.)²

Resumen

La existencia de relaves mineros en zonas con actividad agrícola y áreas residenciales traen como consecuencia efectos adversos sobre el medio ambiente, el desarrollo agrícola y la salud tanto de los habitantes de la zona y como de los consumidores de productos agrícolas cultivados en las áreas de impacto de los relaves. En el presente trabajo se analizan dichos efectos de relaves mineros ubicados en el Valle de Chacabuco-Polpaico, que constituyen un ejemplo que en mayor o menor grado reproduce la situación en diversas partes del país, y se proponen diversas medidas de mitigación que disminuyen en grado importante dichos efectos adversos.

Palabras clave: Relaves mineros, Valle de Chacabuco-Polpaico, efectos adversos, salud, medio ambiente, desarrollo económico, medidas de mitigación.

Abstract

The existence of mining tailings in zones with agricultural activities and residencial areas affects the environment, agricultural development and health of people residing in the area and of people exposed to toxic agents present in agricultural products grown in the mining tails impact area. In the present report, these effects of mining tailings in the Chacabuco-Polpaico Valley are analyzed as an example that reproduce the situation in many other country areas, and mitigation measures are proposed to decrease these adverse effects.

Key words: Mining tailings, Chacabuco-Polpaico Valley, adverse effects, health, environment, economic development, mitigation measures.

¹ Presidente, Departamento de Salud y Medio Ambiente del Consejo Regional de Santiago, Colegio Médico de Chile y Profesor titular, Instituto de Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Dirección postal: Casilla 21104, Correo 21, Santiago, Chile; direcciones electrónicas: atchemi@med.uchile.cl, atchemitchin@gmail.com

² Profesor, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile, PhD en Ingeniería Bioquímica.

INTRODUCCIÓN

La existencia de relaves mineros en zonas agrícolas o residenciales constituye un riesgo de efectos adversos para la salud, el medio ambiente y el desarrollo económico de dicha zona. En el presente trabajo se describen los principales impactos de los procesos de minería en Chile, en especial los procesos extractivos de cobre y minerales asociados, tomando como ejemplo los posibles impactos causados por los relaves mineros en el Valle de Chacabuco-Polpaico, el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) presentado por CODELCO para su proyecto de ampliación de éstos en el Valle de Chacabuco-Polpaico, y se proponen y fundamentan las posibles mitigaciones.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA EN CHILE.

La minería es un proceso mediante el cual se separa un metal del resto de los compuestos que están en el yacimiento. En el proceso minero bajo análisis, se obtiene cobre y sulfuro de molibdeno. El resto de los compuestos presentes en el mineral constituyen impactos ambientales que pueden estar en fase líquida, sólida o gaseosa. Este análisis se enfoca a la fase líquida, proveniente en todo caso de la solubilización de materiales de los sólidos (lixiviación; solubilización; etc.)

Un yacimiento es explotable económicamente cuando el valor de venta de sus metales excede el costo de separarlos desde el mineral (extracción del mineral; procesos de purificación; control ambiental; comercialización, etc.). Se dice que un mineral es de mayor ley cuando su contenido de metal es mayor y habitualmente se expresa en porcentaje (es decir, un yacimiento puede tener una ley de 1%, por ejemplo, significando que se podría extraer una tonelada de cobre metálico por cada 100 toneladas de mineral removido). Se habla de ley de corte para especificar el mínimo contenido de metales que hace explotable un yacimiento. La ley de corte depende, naturalmente, de la tecnología utilizada, que incluye la tecnología necesaria para el cumplimiento ambiental de la operación. Una mayor inversión en el control ambiental hará subir la ley de corte pues reduce la rentabilidad de la empresa

en cuestión. Similarmente, el precio de venta del cobre reduce la ley de corte porque hace factible explotar yacimientos con poco cobre.

Tal como se discute en todos los EIA de minería, hay varios impactos ambientales típicos de las operaciones de minería de cobre y molibdeno. Entre los más importantes se analizarán aquí los impactos asociados a los botaderos de estéril y de los tranques de relave.

Se habla de **material “estéril”** para referirse a aquel mineral que contiene cobre y/o molibdeno debajo de la ley de corte (es decir, no vale la pena procesarlo) pero que debe ser removido de la tierra para llegar al material de ley adecuada para la explotación. Es decir, un estéril es tal desde el punto de vista de la rentabilidad pero no desde el punto de vista de su composición; un material estéril no es un material ambientalmente inocuo, como podría pensarse a primera lectura del término. Habitualmente, los estériles se apilan cerca de la mina y **producen impacto ambiental cuando el agua del entorno disuelve (lixivia) los minerales contenidos en el estéril**. Estas aguas suelen ser conocidas como **“Aguas Acidas de Mina”** o **“Aguas Azules”** entre otros términos.

Tranque de relaves

En un tranque de relaves se acumulan materiales sólidos, finos, que se descartan de las operaciones de separación y obtención de los valores metálicos (cobre y molibdeno, en este caso). La composición de los sólidos sedimentados en los tranques de relaves es muy variada y depende de las características del mineral y de los procesos a que ha sido sometido. Un tranque de relaves de minería de cobre tendrá un contenido de cobre que es el más bajo posible para la tecnología en uso durante la operación del tranque en particular. Por ejemplo, un tranque moderno tendrá mucho menos cobre que un tranque abandonado hace 20 años. Sin embargo, todo el resto de los compuestos presentes en el mineral procesado que no se hayan retirado específicamente en procesos especiales, estarán presente en el relave; dado que la minería puede ser vista como una separación de compuestos para obtener metales de buen valor económico y se basa en transformaciones del material como la molienda, la separación por flotación y sedimentación, la electroobtención, la fundición, la

filtración, entre varios otros procesos posibles. Los relaves y sus aguas contendrán los materiales no recuperados por la minera, además de los eventuales reactivos necesarios para el proceso, principalmente, reactivos de flotación.

El tranque de relaves presenta impactos ambientales tanto en fase sólida (los sólidos sedimentados en profundidad) como en fase acuosa (las aguas de salida del tranque de relaves).

Fase acuosa, o “aguas claras de relave”

En cuanto a la fase acuosa (el agua) ésta puede contener diversas especies disueltas; las normativas chilenas (D.S. 90, por ejemplo) determinan con qué concentración de qué compuestos un agua puede ser dispuesta en superficie, infiltrada a terrenos, evaporada, etc. Otras normas regulan qué especies y en qué concentraciones permitirían o no el uso de las aguas de relave en regadío (NCh1333, por ejemplo).

En la medida que la autoridad acepte que las aguas de relave (llamadas “aguas claras de relave” por su transparencia) de una mina en particular son ambientalmente aceptables, se supondrá de inmediato que la eventual infiltración de esas aguas hacia las napas subterráneas no produce un impacto ambiental importante. Esta suposición se basa en que las aguas de la superficie (que se descargan) sean similares a las aguas de fondo que se podrían infiltrar; asunto que no se suele verificar en la práctica porque en el fondo de un tranque el sólido fino reacciona químicamente con baja velocidad, solubilizando diversas sales en el agua estacionada en el fondo del tranque. De esta manera, si el fondo de un tranque permite el flujo de agua hacia la napa subterránea existirá un impacto ambiental mas elevado que el supuesto por las normas.

En el documento de EIA de la modificación del proyecto de expansión del tranque de relaves del Valle de Chacabuco-Polpaico no figuran las mediciones de permeabilidad del terreno que debieron medirse antes de iniciar la operación del tranque, pero seguramente están especificadas en el EIA del proyecto completo presentado previamente y, si se obtuvo el permiso de la autoridad ambiental, el riesgo de infiltración de napas debió ser considerado, seguramente, bajo. Tampoco figura evidencia de

mediciones permanentes de la calidad de aguas subterráneas como una forma de asegurar que no hay infiltraciones que hagan reducir la calidad del agua de la napa subterránea.

El agua efluente de un tranque presenta riesgos que seguramente fueron evaluados por la autoridad en el EIA presentado previamente. Los riesgos están asociados a los compuestos que se pueden disolver en el agua a concentraciones superiores a las toleradas por la ley. En particular, suele ser una fuente de preocupación la eventual presencia de arsénico, cadmio, manganeso, níquel, sulfatos y zinc. Que estos elementos se encuentren o no en las aguas efluentes depende, naturalmente, de que estén presentes en el mineral bajo explotación o de la dosificación de reactivos al proceso.

La mitigación de estos riesgos es, naturalmente, el reciclaje total de las aguas del tranque; es decir, que la salida del tranque sea bombeada de vuelta hacia la mina, despichando un pequeño flujo que debe ser llevado a tratamiento para su cumplimiento ambiental. El reciclaje de aguas agrega sustentabilidad a la operación minera y a las actividades económicas del valle aguas abajo del tranque, porque si la minería es de contaminación cero la certificación ambiental de los productos agrícolas y ganaderos se ve favorecida. La solución de bombear las aguas claras de vuelta al proceso minero se utiliza en varias instalaciones mineras, sobre todo en condiciones ambientalmente exigentes y en sitios geográficos con escasa agua disponible.

En cuanto a la **infiltración de fondo**, es necesario monitorear la napa subterránea para saber si existe o no contaminación, midiendo los parámetros de la NCh409 o NCh1333. Si se llegase a detectar cambios de composición, se deberá advertir a los usuarios aguas abajo y drenar las aguas hasta resolver el problema de infiltración, asunto que puede llevar al cierre de ese tranque y su reemplazo por algún otro.

Relave sólido

Según se estableció mas arriba, en el tranque sedimentan sólidos que caen hacia el fondo y su acumulación permanente hace subir el fondo, obligando a elevar la línea de aguas (la altura del “espejo” de agua) mediante la elevación de la altura del dique de contención y de la descarga de agua superficial. Los

tranques de relaves van aumentando su altura conforme se usan porque el fondo del tranque acumula sólidos de relave.

Estos sólidos presentan un problema que se agrava cuando se abandona el tranque por terminar su vida útil, es decir, llegó a la máxima altura posible y/o se terminó la operación minera. Cuando el tranque deja de recibir agua en forma regular comienzan una serie de reacciones de solubilización de compuestos cuyo resultado neto es la formación de sales (sulfatos, por ejemplo) de metales diversos. Cuando al tranque caen luego aguas de escurrimiento o de lluvia, esta aguas se impregnan de los productos lixiviados y aparecen en concentraciones altas en el agua que puede llegar a cauces superficiales o infiltrarse a napas subterráneas.

De allí que los tranques abandonados deben ser sellados de modo que no puedan mojarse. El Plan de Cierre debiera contener tales medidas puesto que de otra manera es difícil que la autoridad haya aprobado el EIA.

El control de este impacto ambiental se realiza con un sellado adecuado y la forestación sobre los sellos. En la figura 1 se muestra que por encima de los sólidos del relave deben tenderse capas de arena fina y gruesa para que las eventuales aguas que puedan mojar el sector escurran lateralmente y no mojen los sólidos del relave. Finalmente, se pone una capa de tierra vegetal

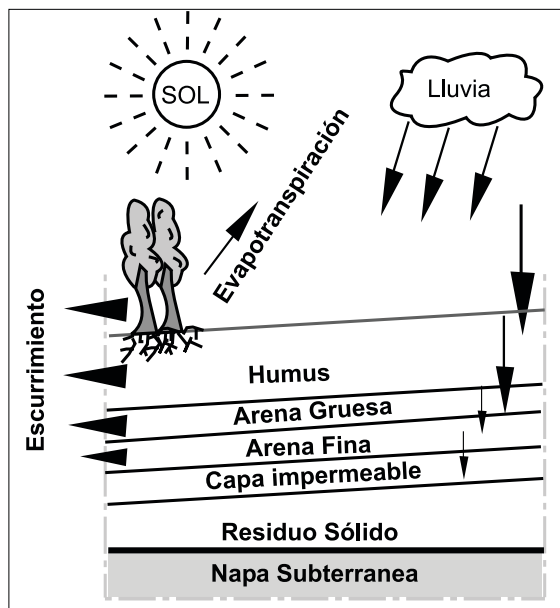


Figura 1: Diagrama ilustrativo de forestación de tranques antiguos.

y se foresta el sector para afirmar el suelo y consumir las aguas que puedan llegar (lluvia, escurrimiento, etc). Alternativamente, los tranques pueden ser lixiviados con fines de neutralización ambiental, de modo que se recuperen todas las especies lixiviables hasta que el material sea efectivamente inerte ambientalmente (es decir, que deje de ser un residuo sólido peligroso desde el punto de vista de la definición de la EPA); esta alternativa se suele considerar desde el punto de vista del beneficio económico asociado a la recuperación del cobre remanente en los relaves, pero es posible usarla para beneficio ambiental con un beneficio económico menor.

Apilamiento de Estériles

Desde el punto de vista de la mina bajo análisis, es mucho mayor el impacto ambiental del apilamiento de estériles que el del tranque de relaves.

Los minerales de baja ley se apilan en forma de rocas o piedras relativamente grandes, es decir, son materiales que no han pasado por procesos de molienda. La acción del agua sobre estos materiales solubiliza (lixivia) lentamente, por acción biológica, los minerales presentes y los deja en forma de sales disueltas en el agua. Esta acción de solubilización (lixiviación) aumenta de año en año de forma natural de modo que el impacto ambiental de esta agua que escurre desde los apilamiento de estéril es cada vez mas concentrada en sales, pudiendo llegar incluso a los 4 g/L de cobre; eventualmente, los minerales se agotan y el material queda neutralizado ambientalmente pero el proceso toma varios años. Predomina, naturalmente, el cobre (usualmente como sulfato), el hierro y el ácido sulfúrico que resulta de la oxidación de hierro ferroso a férrico. Sin embargo, abunda también el zinc, el cadmio y varios otros metales (afortunadamente, hasta este momento no llega mineral que contenga arsénico en ese yacimiento).

El apilamiento de estériles genera aguas de lixiviación durante el deshielo, que han estado impactando el río Blanco durante los últimos años. El proyecto de ampliación parcial de la explotación no ha resuelto el problema porque se plantean diversas medidas de mitigación (construcción de plataformas de depósitos, compactación, remoción de nieve) que no figuran en la proyección de obras del mismo EIA bajo análisis, es decir, han sido planteadas en forma conceptual.

Se debieran realizar dichas obras de mitigación antes de realizar la expansión pues de otro modo los períodos de eventual drenaje de excedencias al río Blanco podrían ocurrir antes de que se realicen las obras asociadas a la mitigación de las descargas al río Blanco.

Aparece como prudente el despacho a Minera Sur Andina (MSA), sin embargo, los ductos asociados debieran cumplir normas de transporte de RILES peligrosos pues se trata de una solución bastante concentrada de sulfato de cobre con varios otros metales disueltos. Sería prudente que, dado que se expande la explotación, se revise con la minera y con la autoridad ambiental los riesgos de rebalse de las canalizaciones para asegurar que no puedan ocurrir eventos peligrosos.

PROYECTO DE AMPLIACIÓN DEL ÁREA DE TRANQUE PARA ALMACENAR RELAVES MINEROS.

La ampliación de las áreas de tranques para almacenar relaves mineros específicamente en el área Ovejería aumentará los impactos negativos en el área de influencia directa del valle de Chacabuco y Polpaico en los aspectos más abajo analizados, para los cuales se incluyen proposiciones de mitigación.

No obstante, las soluciones más adecuadas que tendrían un mínimo de efectos ambientales y debido a su menor costo son realizables por la Empresa Minera son:

1. Implementar las obras de control de las aguas azules antes de comenzar las obras asociadas a la ampliación.

2. Recircular las aguas claras del tranque de relaves al proceso, es decir, bombearlas de vuelta hacia el lugar donde se realiza el proceso minero de concentrado de mineral, generando un proceso minero más sustentable, de efluente cero, ahorrando aguas y permitiendo el desarrollo de la agricultura limpia.

3. Verificar que existan planes de sellado del tranque de relaves cuando termine su vida útil.

4. Implementar plan de monitoreo de calidad de napas acuíferas aguas abajo por el Valle de Chacabuco y Polpaico.

Los principales impactos negativos del proyecto de ampliación son los siguientes:

A. Desvío de aguas lluvia, afectando la dinámica hídrica, con lo cual disminuirán los aportes acuíferos al embalse Huechún de uso agrícola.

Las ampliaciones proyectadas modificarán aún más la dinámica hídrica desviando de su destino las aguas lluvia destinadas a la napa freática y al Embalse Huechún, de uso agrícola, cuyos derechos sobre las aguas lluvia de la cuenca constan en la Ley N° 6087 del año 1936, según plano 2173 del Departamento de Riego de la Dirección de Obras Públicas. Por lo cual Codelco no tiene derechos sobre ellas. Actualmente la Cuenca Ovejería no aporta dichas aguas al Tranque Huechún ya que son retenidas por Codelco. Esta situación ya está ocurriendo con el tranque de relaves actual y sus obras anexas. Las consecuencias son un menor aporte de aguas lluvia al Embalse Huechún, que es utilizado durante el período seco para regadío de una amplia zona agrícola, y a las napas freáticas. Esto causará un deterioro de las actividades agrícolas y sus consecuencias económicas sobre la población, y a la vez una mayor concentración de solutos en las aguas freáticas, lo cual es inconveniente para las actividades agrícolas. Actualmente el nivel freático se encuentra entre 9 y 11 m de profundidad, y la calidad de aguas subterráneas, como las del Embalse Huechún, presenta bajas concentraciones de metales disueltos y de sulfatos (de acuerdo al E.I.A. bajo análisis). Un aumento de salinidad de dichas aguas afectará negativamente la calidad de los productos hortofrutícolas de la zona, lo mismo que la profundización del nivel freático impactará negativamente en la actividad agrícola. Actualmente (diciembre 2005-enero 2006) en Tranque Huechún está virtualmente seco, aún cuando las lluvias del período invernal sobrepasaron los valores promedio.

Proposiciones de mitigación:

1. La construcción de todos los desvíos necesarios para mantener el flujo de las escorrentías durante períodos de precipitación hacia el Embalse Huechún.

2. Estudio (por un organismo independiente a Codelco) de la calidad de las aguas del Embalse

Huechún y de acuíferos freáticos a lo largo de la cuenca del Estero Chacabuco. En las tomas de muestra deberán tomarse contramuestras selladas ante notario de las cuales periódicamente se escogerán al azar algunas para ser evaluadas en laboratorios propuestos por la Asociación de Agricultores, quienes podrán designar personas que verifiquen el procedimiento de toma de muestra. Los valores de las mediciones serán comparados con aquellos obtenidos de las mediciones realizadas por Codelco o sus Laboratorios, y contrastado con los valores comprometidos en el EIA. El costo de los análisis químicos de las muestras deberán ser cubiertos en su totalidad por Codelco Andina.

3. Un eventual aumento de la salinidad de las aguas o una profundización del nivel freático tendrá que ser compensado con aguas de buena calidad traídas a la zona desde afluentes cordilleranos. Con este objetivo, pueden aprovecharse o ampliarse los túneles construidos por Codelco para transportar agua a la Cuenca del Estero Chacabuco, por tuberías independientes que eviten mezcla con aguas de relaves.

4. Considerando que las aguas para la eventual compensación a que se refiere el punto más arriba probablemente provendrán del Río Blanco, debe protegerse su calidad por ejemplo en la cota 3400, por lo cual (4a) se debe informar a la población de su calidad, concentraciones de diversos iones incluido cobre (pasadas, presente y valores de monitoreo en el futuro), y (4b) deben implementarse las obras de control de las aguas azules antes de comenzar las obras asociadas a la ampliación.

B. Percolación de solutos desde el tranque de relaves hacia napas profundas, contaminando aguas freáticas del valle con componentes tóxicos y alterando su composición química.

Las aguas de los embalses de relaves de la minería del cobre suelen contener altas concentraciones de metales y de sulfatos. Además, de acuerdo al origen de los minerales, en referencia a los provenientes de la zona de extracción, contienen molibdeno, hierro, cinc y podrán contener una concentración variable de arsénico As+5 y As+3 que dependerá de la veta de la cual se obtiene el mineral y de su profundidad. Pueden contener también plomo y otros

metales pesados. Estudios realizados en la cuenca del río Aconcagua revelaron muy altas concentraciones de plomo y de cobre en los sedimentos superficiales en el suelo cercano al río, que en el caso del plomo eran las más altas de las diversas cuencas estudiadas a lo largo del país (1, 2). Tyler (3) determinó que los tiempos de residencia de iones de metales pesados en suelos contaminados varían entre 25 y 200 años en zonas no áridas. En zonas de mayor aridez, como la cuenca del Estero Chacabuco, los tiempos de residencia de estos elementos tóxicos pueden incrementarse en un orden de magnitud. La presencia de actividades industriales de minería aumenta aún más ese tiempo.

Las aguas de los embalses de relaves pueden contener además una concentración variable de los reactivos usados en el proceso de extracción de minerales o sus derivados, por descomposición u oxidación de dichos reactivos, y pueden tener una acidez que depende de los procesos utilizados, y de la calidad química de los minerales procesados. La acidez, por lo general, contribuye a una mayor solubilización de los elementos metálicos del sedimento de los relaves. Los xantatos utilizados en los procesos son recuperados principalmente en las espumas pero en algún porcentaje contaminan los relaves, y esta contaminación puede aumentar por vertidos de xantatos en cantidades mayores a las necesarias. El sulfhidrato de sodio genera ácido sulfhídrico aunque normalmente este reactivo es oxidado, generando sulfatos en último término. No obstante, un vertido masivo de este reactivo en forma accidental puede originar, aguas abajo, formación de ácido sulfhídrico con efectos tóxicos sobre residentes de la zona.

Los potenciales efectos sobre la salud de estos componentes químicos, y sus efectos sobre el desarrollo agrícola y económico de la Provincia de Chacabuco, serán analizados más abajo.

Proposiciones de mitigación:

1. La totalidad del tranque de relaves en Ovejería debiera idealmente ser construido de acuerdo a normas internacionales para desechos tóxicos. Alternativamente, proponemos que en el terreno destinado a la ampliación se construya un tranque separado del primero que debiera entrar a usarse; una vez en uso, y seco el tranque de uso actual, el fondo de este último sea impermeabilizado de

la misma manera, después de lo cual pueden unirse los dos tranques. Esta proposición se fundamenta porque mientras el tranque de relaves esté en funcionamiento y si cumple con todas las normas, no sería un residuo peligroso; pero si el manejo es irresponsable, o si se abandona sin obras de cierre adecuadas, su contenido constituye de hecho un residuo sólido peligroso. En consecuencia, se debiera usar un fondo impermeabilizado idealmente de polietileno de alta densidad y espesor adecuado, puesto sobre una capa permeable bajo la cual deberá encontrarse otra capa impermeabilizada y deberá tener ductos para evacuar el lixiviado, en caso de fugas de éste.

2. Deberá haber un plan de emergencia para la extracción y evacuación del líquido percolado en la eventualidad de una ruptura accidental.

3. Debe monitorearse calidad de agua de napas freáticas a permanencia aguas abajo.

C. Contaminación de aguas dulces superficiales (estero de Chacabuco) y de acuíferos freáticos por descargas de aguas de relaves, normalmente con alta carga residual química y de elementos disueltos.

La composición de las aguas de relaves que se descargan en los tranques de relaves no es informada en forma regular y oportuna a la comunidad, y por ende puede contener compuestos no advertidos (por ejemplo arsénico, vanadio, cromo, níquel, etc.) los que pueden ser bioacumulados por masas vegetales. Estos si son descargados al estero de Chacabuco contaminarán estas aguas superficiales y a continuación las napas freáticas. Si se descargan en el período en el cual el cauce del estero está sin agua, contaminarán directamente los acuíferos freáticos.

De esta manera, contribuyen a aumentar la concentración de iones tóxicos en las aguas de regadío y en aguas de pozo potables, afectando tanto la salud de los residentes de la zona como la actividad agrícola.

Los potenciales efectos sobre la salud de estos componentes químicos, y su efecto sobre el desarrollo agrícola y económico de la Provincia de Chacabuco, serán analizados más abajo.

Proposiciones de mitigación:

1. Recircular las aguas claras del tranque de relaves al proceso, es decir, bombearlas de vuelta hacia el lugar donde se realiza el proceso minero de concentrado de mineral, generando un proceso minero mas sustentable, de efluente cero, ahorrando aguas y permitiendo el desarrollo de la agricultura limpia (ver proposición más arriba).

2. En forma provisoria, mientras se de cumplimiento a lo propuesto en el punto anterior, construcción de ducto de evacuación para descargas de aguas de relave directamente al mar, si cumplen con las normas de descargas marinas, y la definición de un sector de contención de descargas de emergencia cuando éstas no cumplan con la norma, donde esas aguas deben ser posteriormente tratadas a cabalidad.

D. Riesgo de descargas masivas de aguas de relaves al estero Chacabuco durante períodos de pluviosidad extrema.

Riesgo de descargas masivas de aguas de relave al estero Chacabuco durante períodos de pluviosidad extrema u otras emergencias, como ya ha ocurrido durante el año 2002, con una posible contaminación química del estero y napas freáticas. Durante el año 2002, después de la descarga masiva al estero en el trayecto de éste se ha percibido un intenso olor sulfhídrico y el aspecto de las aguas ha cambiado, sugiriendo el vertido de compuestos químicos al agua.

Se solicita a la Autoridad información sobre las mediciones de ese período y una explicación exhaustiva del evento a fin de evaluar correctamente la probabilidad y riesgo de una repetición de dicho episodio.

Proposiciones de mitigación:

1. Recircular las aguas claras del tranque de relaves al proceso, es decir, bombearlas de vuelta hacia el lugar donde se realiza el proceso minero de concentrado de mineral, generando un proceso minero mas sustentable, de efluente cero, ahorrando aguas y permitiendo el desarrollo de la agricultura limpia (ver proposición más arriba).

2. Construcción de ducto de evacuación para descargas de aguas a directamente al mar si cumplen

con normas de descarga marina y la definición de un sector de contención de descargas de emergencia cuando éstas no cumplan con la norma donde esas aguas deben ser posteriormente tratadas a cabalidad.

3. La construcción de todos los desvíos necesarios para mantener el flujo de las escorrentías durante períodos de precipitación hacia el Embalse Huechún o hacia el estero de Chacabuco para evitar el llene adicional del tranque de relaves.

E. Riesgo de vertidos accidentales de reactivos tóxicos a las aguas del relave.

Durante el año 2002, con alta probabilidad ha ocurrido un vertido accidental de compuestos químicos al agua, previo o durante una descarga masiva al estero. En el trayecto de éste se ha percibido un intenso olor sulfhídrico y el aspecto de las aguas ha cambiado, debido a la presencia de compuestos sulfurados en el agua del estero. Este evento, que no ha sido informado, causa contaminación de napas freáticas afectando la calidad de productos hortofrutícolas regados con estas aguas.

Proposiciones de mitigación:

1. Para mitigar estos efectos, se propone: construir un reservorio de gran capacidad e impermeabilizado para dirigir hacia ese reservorio las aguas contaminadas accidentalmente, para que puedan ser tratadas adecuadamente.

F. Riesgo de avalancha por ruptura de la pared de contención del tranque durante movimientos telúricos de gran intensidad.

Chile presenta el riesgo de movimientos telúricos de gran intensidad, con lo cual pueden ocurrir ruptura de la pared de contención del tranque de relaves, y escurrimientos masivos de su contenido que no sólo ponen en riesgo vidas humanas, sino que también presentan el riesgo de contaminar los suelos de valles agrícolas y sus acuíferos freáticos, afectando en forma irreversible las actividades hortofrutícolas de la zona afectada. El riesgo de un movimiento de intensidad 7 o mayor no es tan frecuente, pero la persistencia del daño producido va a exceder con creces la frecuencia de eventos telúricos de gran magnitud.

Proposiciones de mitigación:

1. Verificación por la Autoridad de las normas antisísmicas de ingeniería del muro de contención del Tranque de Relaves Ovejería, e información a la comunidad. Lo mismo, verificación de su resistencia ante la eventualidad de rebalse por inundación.

2. En caso que el muro no cumpla las normas de construcción antisísmica y presente riesgos, se debe contemplar la construcción de múltiples muros de contención de avalancha.

G. Riesgo de avalancha desde el tranque de relaves construido en los cerros que limitan por el sur el valle de Chacabuco.

Aún cuando el tranque de relaves construido en los cerros que limitan por el sur el valle de Chacabuco y Polpaico no corresponde al presente EIA, es importante mencionar que el riesgo de avalancha y de contaminación masiva de terrenos agrícolas y riesgo para los pobladores de Huertos Familiares es mayor por la altura en que se encuentra dicho tranque y por la naturaleza rocosa del suelo en que se encuentra, por lo cual es más fácil que ocurra una ruptura en la pared de contención del relave.

Proposiciones de mitigación:

1. Verificación por la Autoridad de las normas antisísmicas de ingeniería del muro de contención del tranque de relaves Las Tórtolas, ubicado en los cerros que limitan por el sur el valle de Chacabuco y Polpaico, e información a la comunidad. Lo mismo, verificación de su resistencia ante la eventualidad de rebalse por inundación.

2. En caso que el muro no cumpla las normas de construcción antisísmica y presente riesgos, se debe contemplar la construcción de múltiples muros de contención de avalancha.

H. Potencial fuente de contaminación atmosférica por material particulado, después del periodo de cierre de la actividad minera, a menos que se tomen las medidas adecuadas para evitarlo.

Después del período de cierre los embalses de relaves tienden a secarse, y una vez secos, emitir gran cantidad de material particulado especialmente si se

encuentran en zonas ventosas, como es la zona del Valle de Chacabuco y Polpaico. El material particulado contiene altas concentraciones de sulfatos y diversos metales en su composición. Los estudios que se realizaron de concentraciones de metales en las diversas partes de la Región Metropolitana han corroborado diferencias entre comunas para concentraciones de algunos metales como el níquel, plomo y otros elementos, y su procedencia se ha atribuido a actividades mineras cercanas a la ciudad de Santiago.

Las implicancias sobre la salud de este material particulado y de su contenido químico están analizadas más abajo.

Proposiciones de mitigación:

1. Actualizar el plan de cierre de acuerdo a nuevos conocimientos científicos y normas internacionales. En general, la superficie de los tranques debe ser recubierta con material impermeabilizado y por encima arena, luego con tierra vegetal sobre la cual se deberá estudiar la posibilidad de una cubierta vegetal adecuada (ver Figura 1).

I. Potencial lixiviación de componentes del relave por la flora bacteriana y por la humedad del suelo, después del período de cierre de la actividad minera, a menos que se tomen las medidas adecuadas para evitarlo.

Después del período de cierre los tranques de relaves tienden a secarse y más tarde, por efecto de la flora bacteriana y de la humedad que aflora del suelo, suele producirse la lixiviación de componentes tóxicos del relave que con anterioridad han estado en estado insoluble en agua. Esta lixiviación suele ser mucho más dañina para el suelo y las napas que la lixiviación durante el período útil del tranque. Se puede evitar con una buena impermeabilización en la superficie y el desvío de aguas lluvia para evitar la humedad y por encima una cubierta vegetal destinada a secar la superficie por evaporación. Las especies con las que deberá ser cubierta la superficie deberán ser decididas de acuerdo al conocimiento científico actualizado que se disponga.

Los potenciales efectos sobre la salud de dicho lixiviado será analizado más abajo.

Proposiciones de mitigación:

1. Actualizar el plan de cierre de acuerdo a conocimiento científico actualizado y a normas internacionales. En general, la superficie de los embalses debe ser recubierta con material impermeabilizado y por encima, con tierra vegetal sobre la cual se deberá estudiar la posibilidad de una cubierta vegetal adecuada (Figura 1).

2. Compromiso por la Autoridad o garantías irrenunciables de cumplimiento, después del período de cierre, con el sellado, monitoreo y garantía de calidad de aguas, para no perjudicar las demás actividades económicas de la región, en especial, las actividades agrícolas.

J. Potenciales efectos sobre la salud.

La contaminación de las napas subterráneas del valle de Chacabuco con minerales provenientes de los tranques de relave o por los eventuales accidentes (vertido de reactivos químicos o descargas masivas), y después del período de cierre, del material lixiviado desde los relaves abandonados, afectará las condiciones de salud de la población que utilice aguas de dichas napas como agua potable, o se alimente con productos hortofrutícolas regados por dichas aguas.

Se conoce bastante bien la composición química de los minerales que se extraen con propósitos de explotación industrial, y algunos con propósitos ambientales. No obstante, no se conoce bien la composición de los demás elementos extraídos de la mina, y de los minerales que varían a diferente profundidad, en donde elementos como el plomo, arsénico, níquel, vanadio, cromo, cadmio y otros pueden estar en bajas concentraciones, pero en procesos de molienda pueden aumentar su concentración. En especial, esto puede ocurrir tanto por procesos químicos o biológicos que alteran su composición y que pueden solubilizar compuestos insolubles, alterando la composición de los relaves. Esto incluye compuestos residuales insolubles de cobre en el material de relave sometido a lixiviación después del cierre.

Basado en el análisis anterior, es importante que la autoridad y los agricultores conozcan los parámetros físicos del agua, descargada de relaves, en términos de tensión superficial, dureza, electronegatividad (si viene seriamente oxidante el agua), porque compuestos utilizados en la minería

que alteran estos parámetros y no están normados pueden ser descargados inadvertidamente y pueden provocar precipitación o solubilización de compuestos importantes para la calidad de agua y para la masa vegetal.

a. Efecto de la contaminación por cobre.

El cobre es un micronutriente esencial en muy pequeñas cantidades para la utilización del hierro, la formación de tejido conectivo, la pigmentación y la producción energética. Forma parte de enzimas como la ferroxidasa, citocromooxidasa, superóxido-dismutasa, aminooxidasas, uricasa, dopamina-beta-hidroxilasa, entre otras.

Es muy tóxico para organismos inferiores y para algunas especies vegetales, lo cual explica que la norma chilena para cobre es más exigente para el agua de riego que para agua potable.

Existen dos alteraciones genéticas del metabolismo del cobre: en la enfermedad de Wilson (por déficit de ceruloplasmina, que es la proteína transportadora de cobre) se produce degeneración hepática y cerebral por acúmulo de cobre, y en el síndrome de Menke, degeneración cerebral por deficiencia del mismo.

Entre las fuentes de exposición principales están la minería y los relaves abandonados.

Características toxicocinéticas: Absorción por vía inhalatoria, no se conoce. Por vía oral, absorción del 50% autorregulada de acuerdo con el contenido corporal de cobre.

Distribución: a todos los órganos unidos a ceruloplasmina, metalotioneina y albúmina, acumulándose en el hígado y también en el cerebro, corazón, riñón y músculo.

Biotransformación: el ión cuproso se oxida a cúprico, que es más estable.

Eliminación: biliar y 1% renal.

Vida media: 4 semanas.

Características toxicodinámicas: Mecanismos y acciones tóxicas principales. Por su gran afinidad por ligandos con S o N, forma complejos de coordinación muy estables. Se une a grupos químicos de la hemoglobina y la membrana celular provocando la lisis. Por inhibición de la glutatión-reductasa e hiperestimulación de la vía de

las hexosasmonofosfato depleta el contenido de glutatión, lo cual significa que tiende a favorecer procesos de oxidación en el organismo y antagonizar la acción antioxidante de compuestos propios del organismo (4). También inhibe la respiración celular.

Efectos tóxicos principales. En forma aguda provoca hemólisis, necrosis hepática, hemorragias gastrointestinales, etc. En forma crónica aparece localmente irritación respiratoria, alteraciones gastrointestinales y dermatitis por contacto. Sistémicamente origina anemia hemolítica, degeneración hepática, alteraciones renales, cerebrales y visuales con el típico anillo de Kayser-Fleischer. A continuación se mencionan dos situaciones que han demostrado la toxicidad por cobre: (a) envenenamientos por cobre que han ocurrido por vía transcutánea por aplicaciones de sulfato de cobre en heridas, y (b) la mayor frecuencia de cáncer pulmonar y daño hepático que se relaciona a inhalación por nebulizadores o plaguicidas que contienen cobre (43, 44).

La exposición a cobre puede provocar enfermedad hepática granulomatosa, con manifestación de granulomas en el tracto portal o cerca de él. La enfermedad hepática típica se considera, por lo general, de poca importancia, sin embargo los granulomas suelen causar hepatomegalia, necrosis o fibrosis del hígado.

Investigaciones recientes sugieren que el cobre favorece en el ser humano el desarrollo de diversas patologías hepáticas y puede contribuir al desarrollo de cirrosis hepática, que han sido observados en ausencia de factores etiológicos de daño hepático y cirrosis tales como el alcoholismo o la hipersensibilidad a medicamentos. Esto ha sido corroborado también en animales de experimentación en los cuales se han demostrado alteraciones hepáticas morfológicas y ultraestructurales post exposición a cobre por vía digestiva (5).

La exposición a cobre tiende a inhibir el factor angiogénico con lo cual inhibe el desarrollo de nuevos vasos sanguíneos, lo cual puede ser de utilidad terapéutica para frenar la diseminación de metástasis en pacientes con cáncer, pero puede provocar malformaciones congénitas (focomelia) en hijos de mujeres embarazadas expuestas a cobre.

La exposición prenatal a cadmio, otro contaminante ambiental que es originado por actividades

antropogénicas y de la minería del zinc, produce alteraciones en las concentraciones de cobre y zinc en forma persistente, por el mecanismo del imprinting, lo cual puede originar diversas patologías (6-8).

b. Molibdeno.

El molibdeno es un oligoelemento esencial para la función de la nitrogenasa en plantas y es en animales un cofactor para enzimas tales como la xantín oxidoreductasa, la aldehído oxidasa y la sulfuro oxidasa (9). Dicho elemento traza esencial se encuentra en legumbres, productos lácteos y alimentos cárneos (10).

Numerosos autores consideran al molibdeno de una relativa baja toxicidad en el ser humano, y las patologías de ésta pueden deberse en forma secundaria, según algunos autores, a una depleción de cobre del organismo (14).

No obstante lo anterior, diversos autores han sugerido un riesgo de la inhalación de polvo con contenido de molibdeno para el desarrollo de diversas enfermedades broncopulmonares, incluyendo cáncer. Se ha demostrado, por ejemplo, que la exposición de animales de laboratorio (ratones) por dos años a 10, 30 y 100 microgramos de molibdeno por metro cúbico de aire causa un significativo aumento de adenomas y de carcinomas bronquioalveolares, además del desarrollo de metaplasias epiteliales cercanas a la epiglotis y otras alteraciones morfológicas y funcionales del aparato respiratorio, tales como inflamación alveolar crónica, degeneración hialina del epitelio olfatorio, y otras alteraciones (9).

En contexto con la carcinogenicidad del molibdato, se ha demostrado que dosis de 200 y 400 mg/kg presentan genotoxicidad *in vitro* (análisis de micronúcleos en cultivo de médula ósea de ratón) e *in vivo* (médula ósea de ratón) (15).

Se ha asociado al molibdeno, en roedores, con la fisiología de la reproducción y el desarrollo fetal. La dosis de NOAEL (no se observa efecto adverso) es de 0,9 mg Mo/kg/día, y de la menor dosis con efectos adversos observada (LOAEL) de 1,6 mg Mo/kg/día. Aplicando un factor de seguridad de 10 para diferencias dentro de la especie, y de 10 para diferencias entre las especies, tenemos una dosis de ingesta diaria

aceptable de 0,009 mg/kg/día para el ser humano, que es más del doble de la ingesta promedio diaria en la dieta de los norteamericanos (14). Se ha demostrado que la administración a ratas vía oral de molibdato de sodio, en dosis de 10, 30 y 50 mg/kg durante 60 días (5 veces por semana), ha causado, en la dosis más alta, alteraciones testiculares, de las vesículas seminales, epidídimo y próstata ventral en ratas macho, observándose además alteraciones de enzimas marcadoras testiculares y alteraciones en la morfología de los espermatozoides (11). Lo anterior puede estar relacionado con la disminución de la sulfatación de la dehidroepiandrosterona por efecto del molibdato en dosis de 25 y 50 mg/kg (16).

El molibdato también causa disminución de la sulfatación en otros procesos bioquímicos en el organismo. La administración de molibdato (7,5 mmol/kg) en ratas disminuye la sulfatación de diversos compuestos químicos por el hígado, proceso importante en la detoxicación de diversas sustancias químicas que son luego eliminadas en forma conjugada (12). 15 mmol/kg de molibdato inhibe la sulfatación de los glicosaminoglicanos en cartílago articular y en otros cartílagos, lo cual puede explicar las deformaciones óseas y problemas articulares que ocurren por exposición a niveles altos de molibdato (17)

La administración de dosis altas de molibdato produce una vasoconstricción importante de arterias cerebrales (que disminuyen en un 30 a 50% de su diámetro), lo cual puede ser uno de los mecanismos de daño neurológico por intoxicación con este elemento (13).

c. Hierro.

El hierro es un elemento fundamental para la vida del ser humano. Un adulto sano tiene de 3 a 5 g de Fe en su organismo, 75% como hemoglobina y mioglobina en estado Fe⁺⁺ y 25% como Fe⁺⁺⁺ en la ferritina, hemosiderina, citocromos y cofactores enzimáticos.

El Fe libre es tóxico. El exceso de Fe libre cataliza reacciones redox, provocando la peroxidación lipídica y la formación de radicales libres. El organismo se defiende de ello, manteniéndolo unido a proteínas de transporte (transferrina) o de depósito (ferritina). Los

seres humanos son los únicos capaces de regular la absorción normal de Fe desde la mucosa intestinal y favorecer su eliminación en exceso.

No obstante lo anterior, el hierro es potencialmente tóxico en todas sus formas y por todas las rutas de exposición. Al lado de sus aspectos esenciales, el exceso de hierro y sus compuestos son origen de patologías diversas. Este exceso activa la reducción férrica en la membrana mitocondrial interna: debido a este efecto se detiene inmediatamente la cadena de los citocromos y se paraliza la producción de ATP en aerobiosis. Como resultado hay un importante déficit en la producción de energía, acidosis metabólica por acumulación de lactato y de citrato, aumento de glicogenolisis y utilización de reservas hepáticas de glucógeno; la peroxidación lipídica está aumentada en microscomas pulmonares lo que conlleva a un aumento de la actividad de la citocromo oxidasa y a una disminución de las actividades de la anilina hidroxilasa y tirosina amino-transferasa. Estos mecanismos pueden ser extrapolados a los efectos tóxicos cardiovasculares, neurológicos y gastrointestinales (18). Se ha demostrado además la teratogenicidad del hierro en animales de experimentación (anoftalmia e hidrocefalia) y un aumento de microsarcomas después de la aplicación intramuscular del compuesto (19); además se ha observado que los mineros con exposición aérea que desarrollan cáncer pulmonar con mayor frecuencia que sujetos no expuestos (19).

d. Arsénico.

El arsénico es un elemento cuya exposición causa el desarrollo de diversas enfermedades (ver 20 y 21 para una revisión), entre ellas el cáncer broncopulmonar, de vejiga urinaria, riñón, vías urinarias, piel (excluyendo los melanomas) e hígado. Se encuentra en forma natural en rocas y en más altas concentraciones en diversos minerales, entre ellos, en algunos minerales de cobre. La exposición humana puede ser por vía inhalatoria y por vía digestiva. La exposición por vía inhalatoria del arsénico ocurre principalmente en los trabajadores de fundiciones de cobre y a los habitantes de zonas aledañas, aún cuando también afecta a mineros y otros trabajadores expuestos a polvo con alto contenido de arsénico. La exposición por vía digestiva ocurre

en población que ingiere aguas contaminadas con arsénico, contaminación que puede ser de fuentes naturales o antropogénicas. El arsénico es concentrado por algunas especies vegetales y animales, y de ellas, algunas especies de uso hortofrutícola. Aún cuando se consideraba que el arsénico proveniente de los alimentos, como es arsénico orgánico que presenta una vida media muy breve en el organismo, carecería del riesgo de causar cáncer, hoy se sabe que algunos compuestos orgánicos son altamente carcinógenos. Más aún, trabajos recientes señalan que el arsénico mineral para ser carcinógeno tiene que metilarse y formar el ácido monometil arsénico y dimetil arsénico (forma de arsénico orgánico que se encuentra en algunos alimentos) que son los que determinan el desarrollo de neoplasias. A diferencia de lo que ocurre en el ser humano, el arsénico no es carcinógeno en especies animales que no poseen la enzima que metila el arsénico.

e. Plomo.

El plomo es un elemento de alta toxicidad, cuya exposición provoca un serio deterioro de la salud de las personas afectadas. Aún cuando las mayores fuentes de exposición a plomo, en Chile, se deben al uso de tetraetilplomo como aditivo para la bencina, bencina plomada que ya no era disponible para la venta en Chile desde Abril de 2001, y a la existencia de pinturas habitacionales con alto contenido de plomo, han ocurrido episodios de alta contaminación con plomo por el acopio de minerales de plomo y de desechos con alto contenido de plomo en el norte del país (2). Otras fuentes de ingreso de plomo son: polvo de ciudades, exposiciones ocupacionales, residencia en la vecindad de actividades industriales o artesanales (autorizadas o clandestinas) que causan emisiones de plomo, y presencia de plomo en alimentación y agua de consumo humano (2).

Considerando que el plomo se acumula en el organismo a lo largo de la vida, principalmente en los huesos, y desde allí es obtenido por el organismo cuando aumentan las necesidades de calcio (el organismo no distingue entre calcio y plomo), y que el mayor daño, que es irreversible y ocurre a muy bajas concentraciones de plomo, ocurre durante el período prenatal y en niños de pocos años de edad, queda

claro que es de mucha importancia realizar esfuerzos para evitar o disminuir al mínimo las exposiciones a plomo de mujeres embarazadas y durante el período infantil de la vida. Igualmente es importante evitar la exposición de mujeres durante la edad fértil, puesto que el plomo que se acumula en los huesos es liberado durante el embarazo y lactancia e ingresa al organismo fetal o infantil por vía transplacentaria o a través de la leche materna.

El efecto sobre la salud de la exposición a plomo en seres humanos puede ser reversible en personas jóvenes o adultas, si las dosis no son muy altas. No obstante, la exposición durante la edad infantil o durante el período fetal deja secuelas irreversibles – que persisten de por vida – pues son causadas a través del mecanismo del imprinting (6-8).

Los efectos irreversibles causados por exposición a bajas dosis son principalmente en el aparato reproductor y el sistema nervioso central.

En el aparato reproductor la exposición prenatal, perinatal o infantil causa alteración en la acción de diversas hormonas, que persiste de por vida, tales como los estrógenos en el útero y las gonadotropinas en el ovario, determinando diversas patologías como infertilidad o esterilidad, aumento de frecuencia de abortos, desarrollo de ovarios poliquísticos, entre otros (ver 2 para revisión). La infertilidad también se desarrolla por mecanismos diferentes al imprinting después de la edad infantil, y por lo tanto puede ser reversible, hecho conocido en el ser humano (22) y también en animales de experimentación (23-25)

El efecto de la exposición perinatal o infantil a plomo en el sistema nervioso central se ha descrito a concentraciones extremadamente bajas de plomo que son consideradas todavía “aceptables” (2), y son disminución del coeficiente intelectual, de la memoria, de la capacidad de atención, tendencia a adicción a drogas de abuso opiáceas y estimulantes (2, 7, 8), agresividad y tendencia a conductas antisociales y delictivas, efectos demostrados en estudios epidemiológicos (26).

En igual forma como el historiador Gilfillan (27) propuso que la infertilidad y los efectos neuroconductuales del plomo presente en vinos almacenados en vasijas de plomo causaron los efectos que determinaron la decadencia y término del Imperio Romano, una exposición masiva a

cantidades pequeñas de plomo puede causar daños muy severos a nuestra sociedad. En consecuencia, es de extrema importancia preocuparse de disminuir los niveles de plomo en el medio ambiente en donde se esté en condiciones, en beneficio de la salud y calidad de vida de las futuras generaciones en nuestro país.

f. Xantatos.

Los complejos de compuestos cúpricos y xantatos pueden lixiviar, en especial en medio ácido, liberando sales previamente insolubles de cobre y de otros elementos al lixiviado, de tal manera que pueden contaminar las napas acuíferas con elementos tóxicos para la salud (28).

Los efectos biológicos de los diversos xantatos usados en la industria minera han sido poco estudiados. Diversos xantatos inactivan, por ejemplo, la enzima citocromo P450 2B1 (29), involucrada en diversos procesos peroxidativos y en diversos procesos de oxidoreducción. Algunas de estas reacciones pueden causar efectos diferidos por el mecanismo del imprinting. Algunos efectos en salud en trabajadores han sido atribuidos a xantatos aún cuando hay controversia sobre aquellos producidos por otros productos químicos (30).

g. Ácido sulfhídrico.

El ácido sulfhídrico es liberado espontáneamente en la descomposición de compuestos sulfurados, y también por acción bacteriana sobre compuestos sulfurados presentes, cuando el oxígeno disuelto se ha consumido por la carga orgánica excesiva del agua. Diversos sulfuros liberan ácido sulfhídrico al ponerse en contacto con agua o ácidos.

El envenenamiento agudo por ácido sulfhídrico ya se produce con concentraciones superiores a 0.1 ppm, con irritación y pérdida sensorial. Sobre 50 ppm se producen manifestaciones progresivas graves que terminan en somnolencia y edema pulmonar. Concentraciones sobre 500 ppm causan pérdida inmediata de la conciencia, depresión de la respiración y muerte en 30 a 60 minutos.

Envenenamiento crónico. La exposición prolongada a ácido sulfhídrico causa baja presión

arterial persistente, náusea, pérdida del apetito, pérdida de peso, trastornos de la marcha y el equilibrio, conjuntivitis y tos crónica.

h. Contaminación de napas y suelo por sulfatos.

Los sulfatos que contaminan las napas acuíferas tienden a producir acidificación del suelo, lo cual tiende a solubilizar diversos elementos metálicos insolubles que pueden ser concentrados en productos hortofrutícolas cultivados en terrenos con alto contenido de sulfatos.

De acuerdo a la norma chilena NCH1333 de calidad de agua para riego, el máximo permitido para concentración de sulfatos es de 750 mg/L. No obstante, el Decreto 90 para actividades industriales permite 2.000 mg/L de sulfatos, de acuerdo a la cual, la minera puede descargar aguas de esta calidad al Valle de Chacabuco, lo cual lo haría incompatible con su uso agrícola de acuerdo a la NCH 1333, menos para cultivos certificados.

i. Cadmio.

Origen de la exposición a cadmio. El cadmio es un elemento relativamente raro en la litósfera, y antiguamente la fuente principal era la emisión volcánica. Sin embargo, estudios muestran que entre 1951 y 1980 la emisión antropogénica excedió con mucho a la natural.

Las fuentes industriales principales son: en el galvanizado de acero, por sus propiedades anticorrosivas, como estabilizador de policloruro de vinilo (pvc), como pigmento en plásticos y vidrio, como material de electrodos en baterías de cadmio-níquel, y como componente de diversas aleaciones. El cadmio también forma parte de numerosos pigmentos, entre ellos el amarillo. El cadmio además forma parte de diversos minerales y se encuentra en el material rocoso. La molienda de ese material puede aumentar la lixiviación de cadmio, en especial al cambiar las características físicas y químicas del agua de relaves en que se encuentre y producirse lixiviación, en especial, después de la etapa de cierre y abandono de tranques de relaves.

Toxicidad y efectos sobre la salud. Históricamente, todos los episodios ambientales importantes causados por cadmio han sido resultados de la contaminación

proveniente de la minería y del refinado de materiales no ferrosos. El problema ambiental más serio ocurrió en el valle del río Jintsu, en Japón, en donde el arroz de consumo local se regaba con agua de río y éste estaba contaminado con cadmio disuelto que procedía de una mina de zinc y plomo situada río arriba. Cientos de personas de esta área, particularmente mujeres de edad avanzada y multíparas, presentaron una enfermedad degenerativa de los huesos a la que se llamó "itai-itai" (en idioma japonés significa "me duele"). En las personas afectadas parte del calcio del hueso fue reemplazado por cadmio, ambos iones divalentes, y casi del mismo tamaño, lo cual les provocó osteoporosis, con gran fragilidad ósea y susceptibilidad a fracturas.

En el siglo pasado, el cadmio fue ampliamente utilizado en pigmentos; de hecho, y se ha supuesto que afectó al pintor van Gogh causándole el trastorno mental del que padeció.

La absorción del cadmio ocurre por vía oral (agua; alimentos, principalmente papas, trigo, arroz, y también mariscos y vísceras; el riñón es el órgano que más concentra cadmio), y por vía inhalatoria.

Una vez absorbido el cadmio, pasa a la sangre y se retiene principalmente en los riñones y en el hígado. La vida media del cadmio se calcula en unos 30 años, principalmente en hígado y riñón que contienen aproximadamente el 50% de la carga de cadmio del organismo.

El cadmio es transportado por la metalotioneína, sintetizada por el hígado, y cuando esta metalotioneína es filtrada por el glomérulo renal para su excreción, una parte de ella se reabsorbe y daña los túbulos renales, mecanismo que explica su nefrotoxicidad. Puede incluso producirse precipitación de estas metaloproteínas ligadas a cadmio en los túbulos renales, provocando un daño renal severo.

Los efectos de la inhalación de aerosoles con cadmio son irritación de las vías respiratorias, disnea, edema pulmonar, debilidad, fatiga, anorexia, náuseas, alteraciones renales con proteinuria, y severas alteraciones hepáticas y renales.

Efectos de la exposición crónica a cadmio: El principal órgano blanco es el riñón. Después de un tiempo mínimo de exposición de 6 a 10 años, las personas expuestas pueden desarrollar disfunción

tubular proximal, precedida de excreción de beta-2-microglobulina, otras proteínas tubulares de bajo peso molecular, o albuminuria moderada, que reflejan el daño renal por cadmio. Un cuadro más severo puede estar asociado con el síndrome de Fanconi: aminoaciduria, glucosuria, fosfaturia y acidosis tubular renal. Es frecuente una hipercalciuria con nefrolitiasis (cálculos renales). También suele observarse una disminución de la filtración glomerular y finalmente, osteomalacia.

En el pulmón, en trabajadores expuestos a cadmio, se ha observado enfisema progresivo sin cuadros de bronquitis que acompañen a la progresión de la enfermedad. También se ha descrito una fibrosis pulmonar no específica con déficit restrictivo y déficit obstructivo moderado.

Estudios epidemiológicos señalan un aumento de riesgo de cáncer prostático y respiratorio. En animales de experimentación se ha demostrado que produce cáncer pulmonar. En el sistema circulatorio, se ha demostrado que produce hipertensión arterial en animales de experimentación, no hay certeza sobre si tiene un papel importante en la hipertensión en la especie humana. En el sistema reproductivo se han descrito diversos efectos, y se ha postulado que causa infertilidad especialmente masculina y que favorece el desarrollo del cáncer prostático. En el tracto genital femenino de animales de experimentación, afecta la contractibilidad miometrial espontánea (la inhibe) y aquella inducida por oxitocina (a dosis muy bajas la estimula, a dosis mayores de cadmio la inhibe) (31), afecta la secreción de progesterona por el ovario (32), aumenta la secreción de prolactina preovulatoria y disminuye las secreciones de FSH y LH durante ese período (33) y causa un engrosamiento microvascular uterino (34).

En animales de experimentación se demostró que la exposición de madres preñadas a cadmio deja secuelas neuroconductuales en las crías (35). Considerando que el cadmio no atraviesa la placenta y no aumentan sus concentraciones en el feto, se supone que el mecanismo del daño es la inhibición a nivel de la placenta del paso de otros elementos – micronutrientes – al feto (36), con las consecuencias mediadas probablemente por el mecanismo del imprinting (8).

j. Zinc.

El zinc proveniente de aguas de relaves tiende a ser absorbido por hortalizas regadas por aguas contaminadas o suelos contaminados, aumentando su concentración en los alimentos de tal manera que constituyen un riesgo probado para la salud de los consumidores (37).

El zinc es un elemento esencial a bajas dosis, pero a mayores dosis produce efectos tóxicos. Al ser ingerido en exceso, afecta las respuestas inmunitarias y provoca anemia refractaria al tratamiento, a dosis más altas produce vómitos, diarrea, úlceras venosas en las piernas, debilidad, hiporeflexia, depresión del sistema nervioso central. Es además teratógeno.

k. Manganeso.

Los efectos más conspicuos de una exposición crónica a manganeso es daño y secuelas irreversibles en el sistema nervioso central, que se manifiestan principalmente por episodios psiquiátricos especialmente sicóticos y por el desarrollo de un síndrome muy parecido al síndrome de Parkinson, pero que tiene ligeras diferencias tanto clínicas como de laboratorio que permiten hacer el diagnóstico diferencial, y que se denomina “parkinsonismo por exposición crónica a manganeso” (38). En este último es frecuente un comienzo con episodios siquiátricos bipolares con predominio depresivo, acompañando a las manifestaciones neurológicas, van incrementando con el tiempo (en el Síndrome de Parkinson clásico sólo se observan las manifestaciones neurológicas pero no las siquiátricas). El estado mental suele casi siempre alterarse (en el Síndrome de Parkinson se conserva el estado mental intacto), en los pacientes con parkinsonismo por manganeso el temblor aumenta con los movimientos voluntarios –temblor voluntario- el temblor disminuye o desaparece en reposo (el temblor del Síndrome de Parkinson clásico es estático, está exacerbado en reposo, disminuye con los movimientos voluntarios y puede desaparecer en breves instantes en forma voluntaria, y aumenta en los estados emotivos). La respuesta al tratamiento con L Dopa es más difícil y generalmente menos efectiva que en el Síndrome Clásico de Parkinson, que responde mucho mejor. Esto

se debe a que en el parkinsonismo por manganeso **no** están afectados en forma importante los terminales presinápticos dopaminérgicos en el striatum, núcleo caudado y putamen, los que sí están disminuidos en forma importante en el Síndrome de Parkinson, produciéndose por ésta causa una buena respuesta a tratamiento con L Dopa en el Síndrome de Parkinson. En el parkinsonismo por manganeso la alteración no está en la falta de transporte y disponibilidad de dopamina en terminales presinápticos, ni en la falta del transportador de dopamina DAT.

Para demostrar esto último, se puede realizar un SPECT tomografía computarizada de emisión de fotón único) de ^{99m}Tc-TRODAT (39). Este examen, en el caso del Parkinson clásico revela una importante disminución del marcador (un análogo de la cocaína) que se une al transportador de dopamina DAT en el striatum, núcleo caudado y putamen. En el caso de parkinsonismo por exposición a manganeso los valores son casi normales o ligeramente disminuidos en dichas localizaciones.

I. Níquel.

Los efectos de la exposición a níquel por vía respiratoria son bien conocidos, por lo cual su presencia en polvos liberados del tranque en estado de abandono pueden afectar la salud de los habitantes de la zona. El níquel es un reconocido carcinógeno humano por la OMS y su exposición induce el desarrollo de cáncer pulmonar y cáncer nasal.

El níquel además es un potente alérgeno que causa dermatitis, eccema y asma bronquial, y es causa de sinusitis y anosmia (pérdida del olfato).

m. Vanadio.

El vanadio también es carcinógeno, pero su efecto nocivo principal es sobre el aparato respiratorio, en donde causa desde tos y broncoespasmo similar al asma alérgico, disminución de la función pulmonar con un patrón obstructivo, hasta llegar a la insuficiencia respiratoria. Causa alteración de la mayoría de las vías metabólicas en diversos órganos y tejidos, facilitando el desarrollo de diversas enfermedades. Causa sensibilización dérmica, y su concentración en el aire ambiental está relacionada con bronquitis, carcinoma

broncopulmonar y un aumento de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares. Entre los procesos metabólicos alterados, es necesario mencionar inhibición de macrófagos pulmonares que están involucrados en los mecanismos de defensa, irritación de la mucosa respiratoria con injuria vascular, edema perivascular y pequeñas hemorragias, hiperplasia de los neumocitos de tipo II, vasoconstricción en diversos órganos, especialmente bazo, inhibición de la espermatogénesis, y causa microabortos al aumentar la mortalidad embrionaria periimplantacional. La carcinogenicidad del vanadio ha sido demostrada en animales de experimentación.

La exposición a vanadio además aumenta mortalidad embrionaria periimplantacional o microabortos.

n. Cromo.

El cromo es un micronutriente necesario para el organismo en concentraciones muy bajas. Prácticamente no existe carencias de cromo excepto en pacientes sometidos a alimentación parenteral que puede ir exenta de cromo. A concentraciones mayores presenta toxicidad.

El contacto cutáneo repetido produce dermatitis eccematosa incapacitante con edema y ulceración que cicatriza con lentitud. La inhalación por periodos prolongados produce daño a las vías respiratorias y al pulmón. También, independiente de la vía de ingreso, produce daño hepático que suele manifestarse inicialmente por náuseas, vómitos, pérdida de apetito y hepatomegalia dolorosa.

El cromo es un reconocido carcinógeno. Por ejemplo, la frecuencia de cáncer pulmonar aumenta en hasta 15 veces más que lo normal en trabajadores expuestos a cromo vía inhalatoria.

o. Sulfatos del material particulado.

Se ha demostrado que las partículas de sulfato presentes en la atmósfera como material particulado muy fino aún a concentraciones menores que la norma chilena para material particulado, causan la contracción de arterias de calibre similar a las arterias coronarias, reduciendo el flujo sanguíneo coronario y desencadenando infartos de miocardio, la mayoría de ellos masivos y mortales, explicando el aumento de mortalidad prematura (casi

inmediata) por enfermedades cardiovasculares causado por exposición aguda a material particulado y aumentando la mortalidad por infarto del miocardio (40).

p. Material particulado respirable PM10 y PM2,5.

En relación de los efectos casi inmediatos (agudos) del material particulado, los trabajos de Ostro y colaboradores (41) demostraron para Santiago un aumento de las muertes prematuras o casi inmediatas por efecto de exposición a aire contaminado con partículas respirables PM10. El aumento de muertes se ha detectado por encima de del nivel de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a razón de 1% por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, distribuido dentro de los primeros 3 días después de la exposición al material particulado. Es decir, con el nivel que define la actual norma chilena como el límite entre aire bueno y regular, índice ICAP 100, que significa 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la mortalidad diaria (distribuida en 3 días) en Santiago se encuentra aumentada en un 10%. En consecuencia, si en condiciones sin contaminación del aire mueren en Santiago 50 personas al día, al llegar al índice ICAP 100 mueren 5 personas adicionales dentro de los primeros tres días. Esto significa que si se mantiene un promedio anual de índice ICAP, la mortalidad por muertes prematuras va estar incrementada en un 10%, lo cual significa disminuir las expectativas de vida, sólo por muertes prematuras en ese porcentaje. Con niveles de emergencia, índice ICAP 500 (330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) la mortalidad está aumentada, durante los próximos tres días, en un 28%.

Es necesario mencionar que el estudio de Ostro y colaboradores (41) considera la existencia de las otras variables confundentes, que han demostrado tener efectos adicionales (frío, entre otras), de tal manera que los datos mencionados se refieren exclusivamente a partículas PM10.

Uno de los mecanismos involucrados en el aumento de mortalidad prematura por efecto de exposición a material particulado (40), se demuestra en un trabajo publicado recientemente, en marzo de 2002, de acuerdo al cual "una exposición durante dos horas a material particulado fino más ozono en concentraciones que suelen encontrarse en lugares urbanos, presentan, dentro de los diez primeros minutos de finalizada la exposición, una vasoconstricción arterial (disminución

del diámetro de las arterias, al estrecharse ellas) que se ha medido en la arteria braquial". Considerando que las arterias coronarias se comportan en forma similar a la arteria braquial, los autores concluyen que estos contaminantes pueden producir Síndrome Anginoso, por isquemia coronaria en personas con insuficiencia coronaria obstructiva, y así desencadenar el inicio de un infarto del miocardio (40).

Efectos diferidos del material particulado: cáncer broncopulmonar. Además de los efectos agudos sobre la salud, y el más grave de ellos, aumento de mortalidad aguda, precoz o casi inmediata, están los efectos diferidos, entre ellos cáncer broncopulmonar, por algunos de los componentes de las partículas PM10. En Santiago Centro por ejemplo, se reportó (42) en 1993 una tasa de mortalidad por cáncer broncopulmonar (por 100 mil habitantes al año) de 20,6, en comparación con Coquimbo (10,3), San Felipe (9,9), B O'Higgins (8,2), Ñuble (6,4) y Concepción (6,0). El promedio país era 11,8. Entre los valores mencionados no están incluidas ciudades con alta contaminación con arsénico que también aumentan las tasas de mortalidad de dicho cáncer (21). Estudios realizados en otros países también confirman el aumento de incidencia y mortalidad por cáncer por efecto de dicho material particulado. En efecto, en una publicación científica de marzo de 2002 (42), se confirma y determina la cuantía del aumento de mortalidad diferida por efecto de exposición a material particulado fino. Cada aumento en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ N de partículas finas determina un aumento de la mortalidad general de un 4%, un aumento de un 8% por enfermedades cardiopulmonares y un aumento de un 6% de la mortalidad por cáncer pulmonar.

Proposiciones de mitigación:

1. Prevención: dar cumplimiento a los valores permitidos de cobre y otros compuestos en el agua potable
2. Evitar a exposición a polvos con alto contenido de cobre, sulfatos, material particulado y otros componentes.

K. Potenciales efectos sobre el desarrollo económico de la Provincia de Chacabuco.

La contaminación de las napas subterráneas del valle de Chacabuco con minerales provenientes de los tranques de relave o por los eventuales accidentes (vertido de reactivos químicos o descargas masivas) es incompatible con el desarrollo de la agricultura orgánica en la zona y con la agricultura limpia, que son las que permiten la exportación de productos hortofrutícolas a otros países. Los productos agrícolas obtenidos de terrenos limpios sin contaminación, y en especial, la agricultura orgánica, permitirán en el futuro próximo su exportación a precios cada vez más altos, por su gran demanda especialmente en los países europeos, lo cual permitirá un rápido desarrollo económico de la Provincia y absorber la cesantía actual en dichas actividades. Por el contrario, ya existe la tendencia de no importar productos hortofrutícolas cultivados en áreas contaminadas por lo cual su precio se reduce, afectando el desarrollo económico de la zona en particular, y del país en general, y la calidad de vida de sus habitantes.

De acuerdo a la norma chilena NCH1333 de calidad de agua para riego, el máximo permitido para concentración de sulfatos es de 750 mg/L. No obstante, el Decreto 90 para actividades industriales permite 2.000 mg/L de sulfatos, de acuerdo a la cual, la minera puede descargar aguas de esta calidad al Valle de Chacabuco, lo cual lo haría incompatible con su uso agrícola de acuerdo a la NCH 1333, menos para cultivos certificados.

Por otro lado, si se realizan las obras para que el proceso sea de efluente cero, a pesar que la zona agrícola está en la zona del relave minero, teniendo certificación de efluente cero garantizaría a potenciales compradores extranjeros de productos hortofrutícolas chilenos de la calidad ambiental de las aguas de riego y de su producto de importación.

Los potenciales efectos sobre el desarrollo económico de la Provincia de Chacabuco están resumidos a continuación:

a. Importancia social y económica de la preservación de un medio ambiente sin contaminación:

- Desarrollo de la agricultura orgánica
- Mayor valor agregado (mayor riqueza para las futuras generaciones)

- Ocupación masiva de mano de obra (trabajo)
- Actividad económica ambientalmente limpia y sustentable

El tranque debera estar acogido a la certificación ISO serie 14000 de Codelco, la que deberá ser informada a los agricultores a fin de poder rendirla a sus eventuales clientes internacionales.

b. Efectos económicos por no implementar las medidas de mitigación propuestas y causados por contaminación directa y por contaminación accidental:

- Menor costo de productos hortofrutícolas cultivados en terrenos contaminados o provenientes de zona contaminada, o de zonas que se perciben públicamente como contaminadas.

- Se impide el desarrollo de agricultura limpia y/o orgánica (cuyos productos tienen mayor valor agregado)

- Rechazo de productos chilenos por encontrar sustancias tóxicas o nocivas para la salud, como ya ha ocurrido con carne de porcino chilena en Corea del Sur por encontrarles dioxinas, salmones rechazados en Holanda por encontrarles verde de malaquita, y cebollas cultivadas en Catemu por estar cultivados en terrenos cercanos a Refinería de Chagres.

- Desprestigio, temor para importar productos de Chile, pérdida de valor del resto de productos chilenos.

- Rechazo de productos chilenos por acusación de dumping ambiental.

- Efectos de Tratados de Libre Comercio (cláusulas ambientales e inspección in situ)

- Efectos del Tratado de Libre Comercio con la Comunidad Europea: pérdida de mercados por incumplimiento de normas y reglas que pueden ser decididas en Europa (no necesariamente en Chile) por causar riesgo para la salud y la vida de la población.

- Estados europeos pueden adoptar y aplicar medidas más severas basadas en fundamentos científicos, que podrán causar RECHAZO de nuestros productos.

- TLC con Europa aplica principio de cautela, precaución y acción preventiva: En la elaboración de su política ambiental, la Unión Europea tendrá en cuenta datos científicos y técnicos disponibles. Esto significa que en Chile es necesario preocuparse de los mismos

principios, utilizar el principio precautorio y basarse en datos científicos y técnicos disponibles. Lo contrario significará el rechazo de productos chilenos y una pérdida para nuestras posibilidades de desarrollo.

CONCLUSIONES

A. Principales Impactos del Proyecto de Ampliación del Tranque de Relaves en relación con el valle de Chacabuco-Polpaico.

La ampliación de las áreas de tranques para almacenar relaves mineros, específicamente en el área Ovejería aumentará los impactos negativos en el área de influencia directa del valle de Chacabuco y Polpaico en los siguientes aspectos:

1. Desvío de aguas lluvia, afectando la dinámica hídrica, con lo cual disminuirán los aportes a la napa freática y al embalse Huechún, tranque de uso agrícola, cuyos derechos sobre las aguas lluvia de la cuenca constan en la Ley N° 6087 del año 1936, según plano 2173 del Departamento de Riego de la Dirección de Obras Pública. Por lo cual Codelco no tiene derechos sobre ellas. Actualmente la Cuenca Ovejería no aporta dichas aguas al Tranque Huechún ya que son retenidas por Codelco.

2. Percolación de solutos desde el tranque de relaves hacia napas profundas, contaminando las aguas freáticas del valle con componentes tóxicos y al menos alterando su composición química. Lo anterior afectará las actividades agrícolas de la zona y la salud de la población.

3. Contaminación de aguas superficiales (estero de Chacabuco) y de acuíferos freáticos por descargas de aguas de relave, cuya composición no es informada en forma regular y oportuna a la comunidad, y por ende puede contener compuestos no advertidos (por ejemplo arsénico, vanadio, cromo, níquel, etc.) los que pueden ser bioacumulados por masas vegetales.

4. Riesgo de descargas masivas de aguas de relave, al estero Chacabuco durante períodos de pluviosidad extrema u otras emergencias, como ya ha ocurrido durante el año 2002, con una posible contaminación química del estero y napas freáticas. Durante el año 2002, después de la descarga masiva al estero en el trayecto de éste se percibió un intenso olor sulfhídrico y el aspecto de las aguas

cambió, sugiriendo el vertido de compuestos químicos al agua.

5. Riesgo de vertidos accidentales de reactivos tóxicos a las aguas de relaves.

6. Riesgo de avalancha por ruptura de la pared de contención del tranque durante movimientos telúricos o meteorológicos de gran intensidad.

7. Lo anterior es también válido para el tranque de relaves Las Tórtolas, construido en los cerros que limitan por el sur el valle de Chacabuco y Polpaico.

8. Potencial fuente de contaminación atmosférica de material particulado después del período de cierre de la actividad minera, a menos que se tomen las medidas adecuadas para evitarlo.

9. Potencial fuente de contaminación de napas con especies lixiviadas después del período de cierre de la actividad minera, a menos que se tomen las medidas adecuadas para evitarlo.

10. Potenciales efectos sobre la salud causados por la contaminación de las napas subterráneas del valle de Chacabuco y Polpaico con minerales provenientes del tranque de relave o por los eventuales accidentes (vertido de reactivos químicos o descargas masivas). Estos afectarán las condiciones de salud de la población que utilice aguas de dichas napas como agua potable, o se alimente con productos hortofrutícolas regados por dichas aguas.

11. Potenciales efectos sobre el desarrollo económico de la Provincia de Chacabuco. La contaminación de las napas subterráneas del valle de Chacabuco y Polpaico con minerales provenientes de los tranques de relave o por los eventuales accidentes (vertido de reactivos químicos o descargas masivas) es incompatible con el desarrollo de la agricultura orgánica en la zona y con la agricultura limpia, que son las que permiten la exportación de productos hortofrutícolas a otros países. Los productos agrícolas obtenidos de terrenos limpios sin contaminación, y en especial, la agricultura orgánica, permitirán en el futuro próximo su exportación a precios cada vez más altos, por su gran demanda especialmente en los países europeos, lo cual permitirá un rápido desarrollo económico de la Provincia y absorber la cesantía actual en dichas actividades.

12. La agricultura del Valle de Chacabuco y Polpaico depende casi en un 100% del agua de pozo proveniente de la napa, la que es también utilizada como agua potable.

B. Medidas generales de mitigación y solución de problemas ambientales.

Para tener un impacto reducido en el medio ambiente, se proponen las siguientes medidas, que por su menor costo son realizables por la Empresa Minera:

1. Implementar las obras de control de las aguas azules antes de comenzar las obras asociadas a la ampliación.

2. Recircular las aguas claras del tranque de relaves al proceso, es decir, bombearlas de vuelta hacia el lugar donde se realiza el proceso minero de concentrado de mineral, generando un proceso minero mas sustentable, de efluente cero, ahorrando aguas y permitiendo el desarrollo de la agricultura limpia.

3. Verificar que existan planes de sellado del tranque de relaves cuando termine su vida útil.

4. Implementar plan de monitoreo de calidad de napas acuíferas aguas abajo por el Valle de Chacabuco y Polpaico.

C. Medidas de Mitigación Provisorias.

1. La construcción de todos los desvíos necesarios para mantener el flujo de las escorrentías durante periodos de precipitación hacia el Embalse Huechún.

2. Estudio (por un organismo independiente a Codelco) de la calidad de las aguas del Embalse Huechún y de acuíferos freáticos a lo largo de la cuenca del Estero Chacabuco. En las tomas de muestra deberán tomarse contramuestras selladas ante notario de las cuales periódicamente se escogerán al azar algunas para ser evaluadas en laboratorios propuestos por la Asociación de Agricultores, quienes podrán designar personas que verifiquen el procedimiento de toma de muestra. Los valores de las mediciones serán comparados con aquellos obtenidos de las mediciones realizadas por Codelco o sus Laboratorios, y contrastado con los valores comprometidos en el EIA.. El costo de los análisis químicos de las muestras deberán ser cubiertos en su totalidad por Codelco Andina.

3. Un eventual aumento de la salinidad de las aguas o una profundización del nivel freático tendrá que ser compensado con aguas de buena calidad traídas

a la zona desde afluentes cordilleranos. Con este objetivo, pueden aprovecharse o ampliarse los túneles construidos por Codelco para transportar agua a la Cuenca del Estero Chacabuco, por tuberías independientes que eviten mezcla con aguas de relaves.

4. Considerando que las aguas para la eventual compensación a que se refiere el punto más arriba probablemente provendrán del Río Blanco, debe protegerse su calidad por ejemplo en la cota 3400, por lo cual (4a) se debe informar a la población de su calidad, concentraciones de diversos iones incluido cobre (pasadas, presente y valores de monitoreo en el futuro), y (4b) deben implementarse las obras de control de las aguas azules antes de comenzar las obras asociadas a la ampliación.

5. La totalidad del tranque de relaves en Ovejería debiera idealmente ser construido de acuerdo a normas internacionales para desechos tóxicos. Alternativamente, proponemos que en el terreno destinado a la ampliación se construya un tranque separado del primero que debiera entrar a usarse; una vez en uso, y seco el tranque de uso actual, el fondo de este último sea impermeabilizado de la misma manera, después de lo cual pueden unirse los dos tranques. Esta proposición se fundamenta porque mientras el tranque de relaves esté en funcionamiento y si cumple con todas las normas, no sería un residuo peligroso; pero si el manejo es irresponsable, o si se abandona sin obras de cierre adecuadas, su contenido constituye de hecho un residuo sólido peligroso.

6. Recircular las aguas claras del tranque de relaves al proceso, es decir, bombearlas de vuelta hacia el lugar donde se realiza el proceso minero de concentrado de mineral, generando un proceso minero mas sustentable, de efluente cero, ahorrando aguas y permitiendo el desarrollo de la agricultura limpia (ver proposición más arriba).

7. Deberá haber un plan de emergencia para la extracción y evacuación del líquido percolado en la eventualidad de una ruptura accidental.

8. Debe monitorearse calidad de agua de napas freáticas a permanencia aguas abajo del tranque, incluyendo todo el valle de Chacabuco y Polpaico.

9. Construcción de ducto de evacuación para descargas

de aguas de relave directamente al mar, si cumplen con las normas de descargas marinas, y la definición de un sector de contención de descargas de emergencia cuando éstas no cumplan con la norma, donde esas aguas deben ser posteriormente tratadas a cabalidad. o a un lugar adecuado.

10. Construcción un reservorio de gran capacidad e impermeabilizado para dirigir hacia ese reservorio las aguas contaminadas accidentalmente, para que puedan ser tratadas adecuadamente.
11. Verificación por la Autoridad de las normas antisísmicas de ingeniería del muro de contención del Tranque de Relaves Ovejería, e información a la comunidad. Lo mismo, verificación de su resistencia ante la eventualidad de rebalse por inundación. En caso que el muro no cumpla las normas de construcción antisísmica y presente riesgos, se debe contemplar la construcción de múltiples muros de contención de avalancha.
12. Verificación por la Autoridad de las normas antisísmicas de ingeniería del muro de contención del tranque de relaves Las Tórtolas, ubicado en los cerros que limitan por el sur el valle de Chacabuco y Polpaico, e información a la comunidad. Lo mismo, verificación de su resistencia ante la eventualidad de rebalse por inundación. En caso que el muro no cumpla las normas de construcción antisísmica y presente riesgos, se debe contemplar la construcción de múltiples muros de contención de avalancha.
13. Actualizar el plan de cierre de acuerdo a nuevos conocimientos científicos y normas internacionales. En general, la superficie de los embalses debe ser recubierta con material impermeabilizado y por encima, con tierra vegetal sobre la cual se deberá estudiar la posibilidad de una cubierta vegetal adecuada.
14. Compromiso por la Autoridad o garantías irrenunciables de cumplimiento, después del período de cierre, con el sellado, monitoreo y garantía de calidad de aguas, para no perjudicar las demás actividades económicas de la región, en especial, las actividades agrícolas.

Referencias

1. González S (1994) *Geoquímica de metales pesados en Chile. En: Impacto Ambiental de Metales Pesados en Chile. Simposio sobre Contaminación Ambiental, Santiago, Chile, pp. 10-29.*
2. Tchermitchin AN, Lapin N, Molina L, Molina G, Tchermitchin NA, Acevedo C, Alonso P (2005) *Human exposure to lead in Chile. Rev Environ Contam Toxicol 185: 93-139.*
3. Tyler G (1978) *Leaching rates of heavy metal ions in forest soil. Water, Air and Soil Pollution 9: 137-148.*
4. Hansen JM, Zhang H, Jones DP (2006) *Differential oxidation of thioredoxin-1, thioredoxin-2, and glutathione by metal ions. Free Radic Biol Med 40: 138-145.*
5. Cisternas FA, Tapia G, Arredondo M, Cartier-Ugarte D, Romanque P, Sierralta WD, Vial MT, Videla LA, Araya M (2005) *Early histological and functional effects of chronic copper exposure in rat liver. Biometals 18: 541-551.*
6. Tchermitchin AN, Tchermitchin N (1992) *Imprinting of paths of heterodifferentiation by prenatal or neonatal exposure to hormones, pharmaceuticals, pollutants and other agents or conditions. Med Sci Res 20: 391-397.*
7. Tchermitchin AN, Tchermitchin NN, Mena MA, Unda C & Soto J (1999) *Imprinting: Perinatal exposures cause the development of diseases during the adult age. Acta Biol Hung 50: 425-440.*
8. Tchermitchin AN (2005) *Perinatal exposure to chemical agents: delayed effects by the mechanism of imprinting (cell programming). ARBS Ann Rev Biomed Sci 7: 68-126.*
9. *National Toxicology Program. NTP Toxicology and Carcinogenesis Studies of Molybdenum Trioxide (CAS No. 1313-27-5) in F344 Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies).* (1997) *Natl Toxicol Program Tech Rep Ser 462: 1-269.*
10. Sardesai VM (1993) *Molybdenum: an essential trace element. Nutr Clin Pract 8:277-281.*
11. Pandey R, Singh SP (2002) *Effects of molybdenum on fertility of male rats. Biometals 15: 65-72.*
12. Boles JW, Klaassen CD (2000) *Effects of molybdate and pentachlorophenol on the sulfation of acetaminophen. Toxicology 146: 23-35.*
13. Markarian NV, Meliksetian IB (1998) *[Cambios en el lecho microvascular cerebral bajo efecto de exposición a molibdeno] (en ruso) Morfologija 114(6): 38-41.*
14. Vyskocil A, Viau C (1999) *Assessment of molybdenum toxicity in humans. J Appl Toxicol 19:185-192.*
15. Titenko-Holland N, Shao J, Zhang L, Xi L, Ngo H, Shang N, Smith MT (1998) *Studies on the genotoxicity of molybdenum salts in human cells in vitro and in mice in vivo. Environ Mol Mutagen 32: 251-259.*
16. Boles JW, Klaassen CD (1998) *Effects of molybdate and*

- pentachlorophenol on the sulfation of dehydroepiandrosterone. *Toxicol Appl Pharmacol* 151: 105-109.
17. Oguro T, Madhu C, Liu J, Klaassen CD (1996) Molybdate impairs glycosaminoglycan sulfation in rat cartilage. *Toxicol Appl Pharmacol* 136:354-360.
 18. Baruthio F (1991) *Toxicologie des éléments trace Essentiels. En: Les oligoéléments en médecine et biologie. Paris, Lavoisier-Ter Doc.*
 19. Córdoba D (2001) *Toxicología, Editorial El Manual Moderno, Bogotá, Colombia.*
 20. Tchernitchin AN, Tchernitchin N (1991) Posibles efectos en la salud de la contaminación de aire, aguas y alimento con arsénico en Chile. *Rev Chil Nutr* 19: 149-163.
 21. Rivara MI, Corey G (1995) Tendencia del riesgo de morir por cánceres asociados a la exposición crónica al arsénico, II Región de Antofagasta, 1950-1993. *Cuad Méd Soc (Chile)* 36 (4): 39-51.
 22. Needleman HL, Landrigan PJ (1981) The health effects of low level exposure to lead. *Ann Rev Public Health* 2: 277-298.
 23. Tchernitchin NN, Villagra, A, Tchernitchin AN (1998) Antiestrogenic activity of lead. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 13: 43-53.
 24. Tchernitchin NN, Tchernitchin AN, Mena MA, Villarroel L, Guzmán C, Poloni P (1998) Effect of subacute exposure to lead on responses to estrogen in the immature rat uterus. *Bull Environ Contam Toxicol* 60: 759-765.
 25. Tchernitchin NN, Clavero A, Mena MA, Unda C, Villagra R, Cumsille M, Tchernitchin AN (2003) Effect of chronic exposure to lead on estrogen action in the prepubertal rat uterus. *Environ Toxicol* 18: 268-277.
 26. Needleman HL, Riess JA, Tobin MJ, Biesecker GE, Greenhouse JB (1996) Bone lead levels and delinquent behavior. *J Am Med Assn* 275: 363-369.
 27. Gilfillan SC (1965) Lead poisoning and the fall of Rome. *J Occup Med* 7: 53-60.
 28. Chang YK, Chang JE, Chiang LC (2003) Leaching behavior and chemical stability of copper butyl xanthate complex under acidic conditions. *Chemosphere* 52: 1089-1094.
 29. Yanev SG, Kent UM, Roberts ES, Ballou DP (2000) Hollenberg PF. Mechanistic studies of cytochrome P450 2B1 inactivation by xanthates. *Arch Biochem Biophys* 378: 157-166.
 30. Donoghue AM (1998) Carbon disulphide absorption during xanthate reagent mixing in a gold mine concentrator. *Occup Med (Lond)* 48: 469-470.
 31. Sipowicz M, Kostrzewska A, Laudanski T, Akertund M (1995) Effects of cadmium on myometrial activity of the nonpregnant human. Interactions with calcium and oxytocin. *Acta Obstet Gynecol Scand* 74: 93-96.
 32. Paksy K, Varga B, Naray M, Olajos F, Folly G (1992) Altered ovarian progesterone secretion induced by cadmium fails to interfere with embryo transport in the oviduct of the rat. *Reprod Toxicol* 6: 77-83.
 33. Paksy K, Varga B, Horvath E, Tatrai E, Ungvary G (1989) Acute effects of cadmium on preovulatory serum FSH, LH, and prolactin levels and on ovulation and ovarian hormone secretion in estrous rats. *Reprod Toxicol* 3: 241-247.
 34. Copius Peereboom-Stegeman JH, Jongstra-Spaapen E, Leene W, Oosting H, Venema H, de Moor E, Gerrissen WJ (1987) Effects of long-term exposure to cadmium on the small blood vessels in the rat uterus: a light microscopic study. *Ecotoxicol Environ Saf* 14: 288-297.
 35. Baranski B (1984) Behavioral alterations in offspring of female rats repeatedly exposed to cadmium oxide by inhalation. *Toxicol Lett* 22: 53-61.
 36. Baranski B (1987) Effect of cadmium on prenatal development and on tissue cadmium, copper, and zinc concentrations in rats. *Environ Res* 42: 54-62.
 37. Tandí NK, Nyamangara J, Bangira C (2004) Environmental and potential health effects of growing leafy vegetables on soil irrigated using sewage sludge and effluent: a case of Zn and Cu. *J Environ Sci Health B* 39: 461-471.
 38. Olanow CW (2004) Manganese-induced parkinsonism and Parkinson's disease. *Ann N Y Acad Sci* 1012: 209-223.
 39. Huang CC, Weng YH, Lu CS, Chu NS, Yen TC (2003) Dopamine transporter binding in chronic manganese intoxication. *J Neurol* 250: 1335-1339.
 40. Brook RD, Brook JR, Urch B, Vincent R, Rajagopalan S, Silverman F (2002) Inhalation of fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults. *Circulation* 105: 1534-1536.
 41. Ostro B, Sanchez JM, Aranda C y Eskeland GS (1996) Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. *J Exposure Anal Environ Epidemiol* 6: 97-114
 42. Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 2002, 287: 1132-1141.
 43. Dreisbach RH, Robertson WO (2001) *Manual de Toxicología Clínica: Prevención, Diagnóstico y Tratamiento. Editorial El Manual Moderno, México DF, 558 p.*
 44. Santic Z, Puvacic Z, Radovic S, Puvacic S (2005) Higher mortality risk of lungs carcinoma in vineyard sprayers. *Bons J Basic Med Sci* 5 (2): 65-69.