

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**IDENTIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE SITIOS CON POTENCIAL  
PRESENCIA DE CONTAMINANTES DERIVADOS DE PASIVOS AMBIENTALES  
MINEROS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**

**CAROLA PATRICIA RETAMAL VALENZUELA**

**Santiago, Chile  
2013**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**IDENTIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE SITIOS CON POTENCIAL  
PRESENCIA DE CONTAMINANTES DERIVADOS DE PASIVOS AMBIENTALES  
MINEROS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**

**IDENTIFICATION AND RANKING OF SITES POTENTIALLY  
CONTAMINATED ARISING FROM MINING ENVIRONMENTAL LIABILITIES  
IN METROPOLITAN REGION OF SANTIAGO**

**CAROLA PATRICIA RETAMAL VALENZUELA**

**Santiago, Chile**  
**2013**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**IDENTIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE SITIOS CON POTENCIAL  
PRESENCIA DE CONTAMINANTES DERIVADOS DE PASIVOS AMBIENTALES  
MINEROS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

**Carola Patricia Retamal Valenzuela**

	Calificaciones
<b>Profesor Guía</b> Sr. Gerardo Soto M. Ingeniero Forestal, M.S. Dr.	7,0
<b>Profesores Evaluadores</b> Sr. Osvaldo Salazar G. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph.D.	6,4
Sr. Pablo Morales P. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph.D.	6,5

**Santiago, Chile**  
**2013**

## AGRADECIMIENTOS

En este trabajo, que refleja el último de mis días de pregrado (que no por ello estuvo exento de ajetreos), quisiera agradecer en primer lugar a mis profesores evaluadores, por corregir oportuna y eficazmente mi memoria, a Gerardo por su buena disposición, por aclarar siempre mis dudas y dejarme tranquila cuando estuve histérica.

A mi familia, porque sin el apoyo de ellos no hubiera logrado llegar a estas instancias; por tener siempre la disposición de ir a dejarme y a buscarme donde fuera que estuviera haciendo trabajos o estudiando y en general por entregarme todo lo que necesité para lograr este propósito, lo que va desde agradecer a mi mamá por hacerme almuerzo y preocuparse siempre por lo que pude necesitar, a mi papá por enseñarme circuitos para física y tener siempre los materiales que pedían para algún ramo (sino, armándolos como fuera) y mi hermano por enseñarme cálculo y algo de programación, que por lo demás, nunca pude comprender del todo.

A mis compañeros de siempre, con los cuales vivimos experiencias límite con los trabajos, tomas de ramos extremas o tres pruebas en un día... Cómo olvidarlo!! Sé que aunque esta etapa termina, ustedes siempre estarán allí para lo que nos depare la vida, al igual que yo para ustedes.

Bueno y por último, cómo no referirme a mi pololo, quien me ha acompañado durante toda la etapa universitaria. Gracias por quererme aún cuando andaba de mal humor por culpa de las pruebas y trabajos, y por enseñarme álgebra en momentos claves.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos .....	4
REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES .....	5
Conceptos de Sitio con Potencial Presencia de Contaminantes y Pasivo Ambiental Minero .....	5
Arsénico en los PAM .....	7
PAM en Chile y Región Metropolitana.....	9
Marco legal.....	9
Métodos de evaluación de SPPC y PAM .....	10
MATERIALES Y MÉTODO.....	15
Área de estudio .....	15
Método .....	16
Identificación, priorización y jerarquización de pasivos ambientales mineros potencialmente contaminados.....	16
Selección y evaluación el pasivo ambiental minero potencialmente contaminado con mayor jerarquía. ....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Identificación, priorización y jerarquización de pasivos ambientales mineros potencialmente contaminados.....	23
Resultados.....	23
Discusión .....	27
Selección y evaluación del pasivo ambiental minero potencialmente contaminado con mayor jerarquía. ....	30
Resultados.....	30
Discusión .....	44
CONCLUSIONES .....	46
BIBLIOGRAFÍA .....	47

ANEXOS..... 53

Anexo 1. Ficha de inspección para SPPC ..... 53

Anexo 2. Jerarquización detallada de los PAM evaluados ..... 64

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Jerarquías clasificadas y descripción .....	21
Cuadro 2. Faenas mineras identificadas y sus coordenadas geográficas .....	24
Cuadro 3. Lista priorizada de las faenas mineras identificadas .....	25
Cuadro 4. Fechas y lugares de visitas a terreno.....	26
Cuadro 5. Jerarquización mediante porcentaje de importancia de cada FMA/P.....	27
Cuadro 6. Identificación de las muestras realizadas SERNAGEOMIN Y BGR según tipo y ubicación en coordenadas UTM PSAD56. ....	38
Cuadro 7. Identificación de las muestras de agua realizadas por Rubio y Rocco (2011) en el área de estudio según fuente y ubicación en coordenadas UTM PSAD56. ....	41
Cuadro 8. Ficha de inspección: información general del sitio. ....	53
Cuadro 9. Ficha de inspección: información del (los) proceso(s) industrial(es) potencialmente contaminante(s) presente(s) en el sitio. ....	56
Cuadro 10 . Ficha de inspección: información específica de las potenciales fuentes de contaminación en el sitio.....	57
Cuadro 11. Ficha de inspección: información específica de la(s) ruta(s) de exposición posibles de encontrar en el sitio.....	59
Cuadro 12. Ficha de inspección: información específica de los potenciales receptores expuestos.....	61
Cuadro 13. Ficha de inspección: croquis esquemático de la situación presente en el sitio. ....	62
Cuadro 14. Ficha de inspección: fuente(s) de la información obtenida respecto del sitio... ..	63
Cuadro 15. Ficha de inspección: puntaje de la ficha. ....	63
Cuadro 16. Puntaje asignado para cada PAM según la fuente, ruta y receptor.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ilustración para la identificación, priorización y jerarquización de SPPC.....	16
Figura 2. Árbol de decisión para la priorización de SPPC.....	18
Figura 3. Esquema de la secuencia de la evaluación preliminar del SPPC.....	21
Figura 4. Ubicación geográfica de la localidad de Rungue, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana .....	31
Figura 5. Área que contempla la Fundición Refimet y los depósitos arsenicales en la comuna de Tiltil, Región Metropolitana. ....	32
Figura 6. Depósitos arsenicales de Refimet y su variación en los años 2005, 2006 y 2010 según imágenes disponibles en Google Earth. ....	33
Figura 7. Esquema inicial del escenario en el área de estudio considerando la interacción de los depósitos arsenicales con el medio ambiente.....	35
Figura 8. Mapa conceptual de la situación en el área de estudio considerando fuente de contaminación, vías de exposición y receptores.....	35
Figura 9. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de SERNAGEOMIN y BGR (2005) para contenido de As en aguas de los alrededores de los depósitos de Refimet .....	39
Figura 10. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de Rubio y Rocco (2011) para contenido de As en aguas en los alrededores de los depósitos arsenicales de Refimet. ....	42

## RESUMEN

Los sitios potencialmente contaminados en Chile han constituido un problema que crece en conjunto con la industrialización del país, y particularmente en el sector minero nacional. Hoy en día, algunas de estas faenas mineras se encuentran en estado de abandono quedando a merced de las condiciones del medio ambiente que las rodea y pudiendo ser un foco de contaminación para la población. En la presente investigación se desarrolló el método utilizado por el Ministerio del Medio Ambiente para la evaluación de sitios con potencial presencia de contaminantes, enfocándose específicamente en los pasivos ambientales mineros presentes en la Región Metropolitana de Santiago. Para ello se contó con información del Servicio Nacional de Geología y Minería, el cual mediante un catastro, describía la ubicación y nombres de las faenas mineras abandonadas y/o paralizadas. La información disponible fue clasificada y evaluada de acuerdo a criterios previos aprobados por el Ministerio. Se obtuvo un total de 20 pasivos mineros ordenados en un ranking según su potencial peligro, de acuerdo a factores relacionados con las fuentes, rutas y receptores asociadas a cada sitio en específico. La jerarquización arrojó como resultado que la Faena Minera Refimet, con sus depósitos arsenicales en la localidad de Rungue en Tiltil, resultó tener un 72% de jerarquía, conformándose como aquella con la mayor relevancia, y por tanto, aquella que debía ser investigada más a fondo. De la revisión de cuatro estudios realizados en el lugar respecto de la situación de la contaminación que había en sus aguas subterráneas, no fue posible determinar el origen exacto de dicha contaminación, puesto que además de los tranques con residuos arsenicales del sector de estudio, se encuentra la Formación Las Chilcas cuyo contenido rico en arsénico podría ser una fuente adicional de contaminación de las aguas subterráneas.

**Palabras clave:** Pasivo Ambiental Minero, Refimet, Arsénico, Contaminación de Aguas Subterráneas, Ministerio del Medio Ambiente, Rungue.

## ABSTRACT

The problem of potentially contaminated sites in Chile has been a growing problem in conjunction with the country's industrialization. This is seen particularly in the mining sector, whose importance has been developed over many years with the height of the small-scale mining. Nowadays, some of these sites have been abandoned at the mercy of environmental conditions around them and can be a source of contamination for the people. This investigation develops the method used by the Ministry of Environment to assess sites with potential contaminants, focusing specifically on mining environmental liabilities present in Metropolitan Region of Santiago. The register of the National Service of Geology and Mining, described the location and names of abandoned mines sites and/or paralyzed. The available information was evaluated according to the Ministry method. In doing so, we obtained a total of 20 mining liabilities arranged in a ranking according the potential danger that could mean according to factors related to the sources, pathways and receptors associated with each specific site. Thus, it was found that the Mining Refimnet with arsenic deposits located in Rungue, commune of Tilttil, had a 72% of significance, conforming as one with the highest rank, and therefore, that it should be further investigated. For this, we counted with four studies conducted at the site, allowing knowing the pollution in groundwater, though not determined its origin certainly; it could be for arsenic residues or the presence of Las Chilcas Rock Fmation in the sector, which can release arsenic to groundwater. This seems to be the most likely source, due to the site impermeable rocks that would confine any leachate from the dams, and seems to have no aquifer in the area.

**Key words:** Mining Environmental Liabilities, Refimnet, Arsenic, Groundwater contamination, Environment Ministry, Rungue.

## INTRODUCCIÓN

Los pasivos ambientales corresponden a deudas ambientales originadas por actividades o empresas que durante su funcionamiento contaminaron aguas, suelo, aire, recursos naturales y/o afectaron ecosistemas por medio de la liberación de residuos que no fueron remediados oportunamente antes que éstos se dispersaran, por lo que continúan resultando perjudiciales para el medio ambiente. Los pasivos ambientales, muchas veces son una responsabilidad moral más que jurídica (ODG, 2002).

Unos de los pasivos ambientales más relevantes y emblemáticos en Chile son aquellos provocados por la minería, llamados Pasivos Ambientales Mineros (PAM), que corresponden, a “las faenas mineras abandonadas o paralizadas, incluyendo sus residuos, que constituyen un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente” (Oblasser y Chaparro, 2008), y que se traducen en depósito y abandono de los residuos que esta industria genera, seguramente producto por una falta de legislación que ha sido condicionada por la relevancia económica de esta actividad a lo largo del tiempo.

La minería ha sido una de las actividades económicas más antiguas y relevantes de Chile; se ha desarrollado desde mediados del siglo XIX sin que fuese considerada como perjudicial para el medio ambiente debido a la contaminación que pudiese generar (De Ramón, 1988). A pesar de que el medio ambiente se consideró de manera sectorial en la segunda mitad del siglo XX, las políticas relacionadas con la minería continuaron pasando por alto este aspecto al considerarse el cobre como “el sueldo de Chile” (Camus y Hajek, 1998), e incluso cuando se establecieron normas de emisión y calidad del aire, no hubo suficiente voluntad para fiscalizar su cumplimiento (CEPAL, 1991).

En el caso de la Región Metropolitana (RM), la de mayor población en el país con un 40,33% del total (PNUD, 2013), y la de mayor expansión urbana, es muy decidor: se han utilizado espacios tradicionalmente cultivados, cerca de centros poblados, lo que fue aumentando la cercanía a faenas mineras (Ferrando, 2008).

Esto es relevante puesto que la minería ha producido impactos tales como: contaminación atmosférica con sulfato (SO<sub>2</sub>), material particulado, y contaminación de aguas y suelo con metales. En el caso de los PAM, esta situación se prologa luego del término del proyecto, ya que se encuentran sin un plan de cierre y sin un dueño responsable, por lo que las personas que habitan cercanas a ellos, pueden estar más propensas a verse afectadas (Yupari, 2003).

Por ello se hace urgente identificar de los PAM en el país, evaluarlos de forma global y jerarquizarlos para así poder establecer comparaciones entre ellos.

Al respecto, en diciembre de 2011, fue aprobado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y mediante la Resolución Exenta N°1690, un método elaborado en conjunto con la Fundación Chile, que permite tener una base de datos actualizada de todos aquellos sitios que puedan estar potencialmente contaminados debido a alguna actividad catalogada como contaminante. Estas actividades pueden ser, por ejemplo, refinerías de petróleo, vertederos ilegales, aserraderos o actividades mineras.

En el presente estudio se evaluará esta metodología en la RM, desarrollando el caso específico de los PAM.

### **Objetivo general**

Aplicar, analizar y discutir la metodología oficial del Ministerio del Medio Ambiente para la identificación y jerarquización de pasivos ambientales mineros con potencial presencia de contaminantes en la Región Metropolitana, para luego evaluar un sitio específico a seleccionar de acuerdo a su jerarquía.

### **Objetivos específicos**

- Identificar, priorizar y jerarquizar pasivos ambientales mineros potencialmente contaminados.
- Seleccionar y evaluar el pasivo ambiental minero potencialmente contaminado con mayor jerarquía.
- Analizar el método utilizado según la aplicabilidad del procedimiento

## REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

### Conceptos de Sitio con Potencial Presencia de Contaminantes y Pasivo Ambiental Minero

Para comenzar la familiarización con el tema a tratar en la presente investigación, es conveniente definir aquellos elementos fundamentales, como lo es un sitio contaminado respecto de uno potencialmente contaminado. En el primer caso, se reconoce que algún componente ambiental de dicho sitio (como agua, suelo o aire) está siendo afectado mediante la alteración de las características físicas, químicas y/o biológicas por algún componente derivado de alguna actividad externa que supera su concentración en el medio según normas específicas, y por lo tanto puede significar un riesgo para la salud de las personas o ecosistemas (ReLASC, s.a).

En el segundo caso, para un Sitio con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC), no se tiene la certeza de que algún componente ambiental esté siendo afectado, menos aún si en caso de que fuese así, se esté superando alguna norma primaria o secundaria, sin perjuicio de lo cual se pueda tener sospecha de ello dadas las actividades históricas desarrolladas en él, por lo que se debe realizar una investigación en dicho lugar con el fin de confirmar o descartar dicha sospecha.

Dentro de las definiciones de sitio contaminado y potencialmente contaminado destaca la de la Compañía de Tecnología y Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB-GTZ, 1999), donde se establece que un sitio contaminado corresponde a un “área o terreno donde hay comprobadamente contaminación, confirmada mediante análisis, y que puede ocasionar daños o riesgos a las personas y bienes en la misma área o los alrededores”, en tanto que áreas potencialmente contaminadas las define como aquellas donde “se están o han desarrollado actividades potencialmente contaminantes, es decir, donde se produce o fueron manejadas sustancias cuyas características físico-químicas, biológicas y toxicológicas pueden causar daños y/o peligros para las personas o bienes”.

Precisamente de esta fuente es que se adaptó la definición para Chile, donde un sitio contaminado es aquel que “mediante una evaluación de riesgo ambiental se ha determinado que existe nivel de riesgo relevante”, y un sitio potencialmente contaminado por su parte, corresponde a un “lugar o terreno en el que se desarrollan o han desarrollado actividades potencialmente contaminantes”, incluyendo dentro de ellos a suelos con actividades activas o abandonadas (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Para comprender de mejor manera las definiciones anteriores, se hace necesario definir el riesgo ambiental, que según la US EPA (2011) corresponde a “la posibilidad de efectos

perjudiciales para la salud humana o para los sistemas ecológicos por la exposición a un factor de estrés ambiental”. Este análisis de riesgo sirve para caracterizar la naturaleza y magnitud del peligro para las personas y receptores ecológicos debido a contaminantes que pueden estar presentes en el ambiente (GreenLab UC, 2012). A su vez, esta evaluación de riesgo determina si el organismo o población son capaces de tolerar la exposición a elementos tóxicos derivados de un sitio contaminado a través del conocimiento de la toxicidad del contaminante en cuestión, la cantidad de éste que entra en contacto con el receptor y las vías de exposición en las que se produce este contacto (Briones, 2003).

Cabe destacar que no todos los sitios contaminados son riesgosos, es decir, no necesariamente representan algún peligro para los posibles receptores, ya que dependerá de los contaminantes presentes, su concentración, la interacción y exposición con los elementos medioambientales, y las características del sitio en cuestión (Bravo, 2008).

Existen varios SPPC derivados de actividades que pueden significar algún grado de contaminación para el medio que los rodea. En el caso de Chile, se pueden nombrar sitios donde se han asentado actividades que se identifican como actividades potencialmente contaminantes en la definición del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de SPPC, tales como: la industria minera, refinerías de petróleo, fundiciones, termoeléctricas, almacenaje de plaguicidas o residuos peligrosos, vertederos ilegales, zonas de derrames químicos y aserraderos o cepilladura de madera (Fundación Chile, 2012). Dichos SPPC pueden generar finalmente sitios contaminados y pasivos ambientales.

Desde el punto de vista económico y desde su relación que tienen sobre el medio ambiente, los pasivos ambientales ligados a la actividad minera, se han definido en la literatura como Pasivos Ambientales Mineros (PAM). Estos corresponden a aquellos desechos depositados y abandonados luego del cierre de la faena. Esto genera una deuda con el medio ambiente que intervino, cuya magnitud dependerá del sistema legislativo que tenga el país donde el daño es producido (Russi y Martínez, 2003; Martínez, 2007).

Dentro de las muchas definiciones de pasivo ambiental, se destaca la de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA, 1996), donde se establece que corresponden a la “obligación legal de realizar un gasto en el futuro por actividades realizadas en el presente o el pasado, sobre la manufactura, uso, lanzamiento o amenaza de lanzar sustancias particulares o actividades que afectan el medio ambiente de manera adversa”. Por otro lado, la CETESB de Brasil establece que corresponden a “depósitos antiguos y sitios contaminados que producen riesgos para el bienestar, de acuerdo con evaluaciones técnicas avaladas por la autoridad competente”

Los PAM corresponden a una deuda ambiental contraída por las empresas mineras que algún día funcionaron y luego abandonaron sus residuos e instalaciones en un determinado lugar sin remediar los perjuicios causados al medio ambiente. Desde la perspectiva del derecho civil es el Estado el responsable de asegurar un medio ambiente sin contaminación, y por lo tanto es él quien contrajo la deuda al no contar con la legislación que obligara al

empresario minero a internalizar los daños ambientales que pudiese provocar con el funcionamiento de la faena.

En Chile, los PAM se definen como “faenas mineras abandonadas o paralizadas, incluyendo sus residuos, que constituyen un riesgo significativo para la salud o seguridad de las personas, para el medio ambiente o para las actividades económicas” (Oblasser y Chaparro, 2008; Ministerio de Minería 2012). Los pasivos mineros son un producto de la evolución histórica que tiene la actividad minera, desarrollada desde mediados del siglo XIX, con la llegada de la pequeña minería (De Ramón, 1988). A lo largo del tiempo, esta actividad evolucionó y transformándose en la actividad económica más importante del país, Entre los años 2006 y 2010, la minería contribuyó con el 19,4% del producto interno bruto (PIB) y generó el 62,4% de las exportaciones totales del país, lo cual representa el 25,7% de los ingresos fiscales (Benítez, 2012).

Los PAM pueden ser fuente de distintos tipos de contaminantes, dependiendo del tipo de material que se procesó o almacenó. Sin embargo el riesgo por seguridad más relevante deriva en la estabilidad física de las instalaciones remanentes, pudiendo ceder los relaves y con ello contaminar su entorno. Las sustancias tóxicas más comunes en estos casos, son el arsénico y cianuro, además de cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, mercurio, entre otros, presentes en los tranques de relave (Oblasser y Chaparro, 2008).

### **Arsénico en los PAM**

Luego del término de la operación minera, se deben considerar los posibles impactos ambientales que pueden producir los desechos e instalaciones que quedan en el sitio. Los principales impactos derivados del material de los relaves y del polvo generado por la misma afectan al suelo y el aire; también se pueden contaminar cuerpos de agua superficiales y subterráneos, al lixiviar el material del relave (Mejía *et al.*, 1999).

Uno de los tóxicos más comunes en la minería es el arsénico (As), elemento no metálico o metaloide, que se puede encontrar naturalmente asociado a formaciones rocosas y volcánicas, y también como impureza en minerales metálicos como cobre y oro, haciéndose necesario extraerlo para obtener el producto metálico final (U.S Geological Survey, 2013).

La forma de extraerlo es mediante fundiciones, donde el As se sublima bajo determinadas características fisicoquímicas (ambiente reductor y sulfuroso) que permiten su separación del mineral de interés al volatilizarse en forma de trióxido de arsénico ( $As_2O_3$ ) (Ziobrowski *et al.*, 1996; ATSDR, 2007). Luego este compuesto se captura, y puede utilizarse como insumo para otros productos, o bien como un desecho de la industria minera. Entre los productos en los que el As se puede utilizar en la fabricación de plaguicidas, preservantes para madera, pigmentos, elementos semiconductores utilizados en teléfonos celulares y paneles solares (ATSDR, 2007); también para la fabricación de vidrios y como endurecedor de aleaciones en municiones y soldaduras. Respecto de la producción de As, China es el

mayor productor mundial con 25.000 toneladas. Sin embargo Chile es el segundo mayor, con 11.000 toneladas producidas para el año 2010 (Brooks, 2010).

El As, se puede encontrar en forma orgánica e inorgánica y bajo cuatro estados de oxidación, que dependen del pH, potencial redox y actividad microbiana. Sin embargo los estados más comunes son en arsenato (arsénico pentavalente o As(V)) y arsenito (arsénico trivalente o As(III)). Las formas inorgánicas de este elemento son más tóxicas y móviles que las orgánicas: el arsenito es de 5 a 8 veces más móvil que el arsenato en un suelo franco-arenoso, siendo 10 veces más tóxico (Wang y Mulligan, 2006). A pesar de que el As puede afectar ecosistemas y elementos ambientales circundantes, como suelo o agua superficial, es poco común que éste llegue a las napas subterráneas, puesto que tiende a adherirse (adsorberse) a partículas del suelo y sedimentos (NNCIAH, 2006), aunque ello siempre es función de la solubilidad que la forma de As tenga en el agua (ATSDR, 2007). Para el caso del As que es liberado desde materiales geológicos, afecta de manera inmediata las aguas subterráneas al tener contacto directo con ellas (NNCIAH, 2006). Si se adhiere a partículas muy pequeñas, puede permanecer en el aire durante días, recorriendo largas distancias (ATSDR, 2007).

Para el ser humano, el peligro surge cuando se pueda ver afectada la salud del individuo por la presencia de sustancias tóxicas en los componentes ambientales antes nombrados y la interacción que las personas tienen con ellos, pudiendo ingerirlos desde el agua, inhalarlos desde el aire o tener contacto dérmico por contacto con suelos contaminados. Los síntomas de intoxicación por arsénico algunas veces son inmediatos, y se manifiestan como malestar estomacal, vómitos, e incluso la muerte. En caso de mantenerse esta exposición, las consecuencias son variadas, pudiendo resultar en anemia, leucopenia, cáncer de piel u otros tipos de enfermedad. Además del ser humano, el arsénico puede resultar tóxico para plantas y animales (Wang y Mulligan, 2006). Esto se ve claramente en el uso prolongado de aguas contaminadas para riego, lo que puede provocar que los alimentos acumulen el As y con ello afectar a quienes lo consuman (NNCIAH, 2006).

Hoy en día, se cuenta con métodos para extraer el As desde las fundiciones y de los relaves. Para el primero, existen filtros de bolsa y colectores electrostáticos, que atrapan cerca del 99,7% del polvo emitido (Vallero, 2007). Para el segundo caso, y es posible utilizar compuestos con hierro, más específicamente el óxido de hierro, además de arcillas y carbón activo, con los que se filtra el agua y se capta el As de ella. Otro de los métodos que actualmente se están estudiando, es el uso de plantas (fitorremediación) y humedales (Straskraba y Moran, 1990).

## **PAM en Chile y Región Metropolitana**

Dada la importancia de la minería en Chile, es de suponer que a lo largo del país exista una gran cantidad de PAM. Al respecto, en 2007, el SERNAGEOMIN en conjunto con la Agencia de Protección Internacional del Japón (JICA) realizó una investigación en el marco del proyecto de cooperación chileno-japonés FOCIGAM (Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en la Gestión Ambiental Minera), y elaboraron un catastro de Faenas Mineras Abandonadas o Paralizadas (FMA/P). En este estudio se muestra un resultado de 213 faenas en todo el país, a las que se agregaron 196 en la actualización de 2010, haciendo un total de 409 sitios (SERNAGEOMIN, 2007). En la Región Metropolitana (RM), entre los catastros de 2007 y 2010 se tiene un total de 34 FMA/P que se analizarán en la presente investigación. Con este valor, se tiene que la RM concentra alrededor del 8,3% del total de faenas abandonadas del país.

Entre los datos que contiene este catastro, se destacan las coordenadas geográficas de las faenas, sus nombres y en ciertos casos, el material procesado y el uso de sustancias peligrosas.

Cabe destacar que el término FMA/P se considera un sinónimo para PAM en el desarrollo de la presente investigación.

### **Marco legal**

La regulación de los PAM comenzó con la realización de estudios de cooperación técnico-económicos. El principal fue el proyecto FOCIGAM entre el Ministerio de Minería (SERNAGEOMIN), y el Gobierno de Japón a través de JICA entre los años 2003 y 2007. Con la idea de generar un proyecto de ley sobre Remediación de Pasivos Ambientales Mineros (cuya versión definitiva aún no es patrocinada ni por el Ministerio de Minería ni el de Medio Ambiente), surgió otro proyecto de cooperación internacional, esta vez con el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR, por sus siglas en alemán) entre 2003 y 2008 denominado Bases para la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros. El producto principal fue un Manual de Evaluación de Riesgos de Faenas Mineras Abandonadas (denominado SERNAGEOMIN-BGR en el ítem “Métodos de evaluación de SPPC y PAM” en la presente investigación), el que se ha constituido como el método estándar de evaluación de riesgos en estas faenas. Hasta 2011, fue aplicado a 16 faenas, considerando a 14 de ellas como pasivos mineros (Vivallo, 2011).

Luego de años de tramitación, en noviembre de 2011, fue aprobada la Ley 20.551 que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras. Dentro de sus atribuciones, destaca que reconoce que la etapa de cierre es parte del ciclo de vida útil de todo proyecto minero y que este cierre se debe implementar de forma progresiva en las distintas etapas de operación de la faena en toda su vida útil. En la ley se establecieron 6 etapas en el ciclo de vida de un

proyecto minero, a saber: 1) Exploración, 2) Prospección, 3) Factibilidad y diseño de proyecto, 4) Construcción, 5) Explotación y operación y 6) Cierre.

Respecto de la institucionalidad ambiental, representada por la Ley 20.417 que modifica la Ley 19.300 de Bases Generales de Medio Ambiente, el Ministerio del Medio Ambiente tiene la potestad de proponer políticas, formular normas, planes y programas en materia de residuos y sitios contaminados. Por esto, se aprobó, a fines de 2011 mediante la Resolución Exenta N°1690, un método para la identificación y evaluación preliminar de sitios abandonados potencialmente contaminados.

### **Métodos de evaluación de SPPC y PAM**

Los métodos para la evaluación de SPPC dependen del tipo de riesgo que se quiera evaluar y de la información disponible para las variables que ingresan a la evaluación (Bravo, 2008), y así como existen métodos específicos para un tipo de contaminante o actividad económica, también hay otros más globales, pudiendo aplicarlos en cualquier sitio potencialmente contaminado. También se debe establecer la diferencia entre la evaluación de un sitio contaminado respecto de uno potencialmente contaminado. En el primer caso, se tiene la certeza de que el sitio en cuestión se encuentra contaminado y es posible establecer el riesgo que corre la población circundante y el medio ambiente en base al tipo y concentración de contaminante; en tanto que para el segundo es necesario establecer estos datos para conocer el estado y grado de contaminación, y para luego determinar el riesgo que deriva de dicho lugar. Respecto de ello, los métodos más populares provienen de Estados Unidos, donde destacan las propuestas desarrolladas por: a) la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), que estima el riesgo a la salud según datos ambientales del sitio, b) la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR, por sus siglas en inglés), que también contempla riesgo a la salud según datos ambientales sumando además los antecedentes de salud en el área de influencia del sitio contaminado y c) la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés), que al igual que la EPA, se plantean lineamientos como identificación del peligro, relación dosis-respuesta o evaluación de los efectos, y caracterización del riesgo (Altieri *et al.*, 2004; Bravo, 2008, y ATSDR, 2005). A continuación se describen brevemente algunos métodos.

#### **Método U.S EPA (US EPA, 1989 y Díaz, 1999)**

Este método contempla cuatro etapas principales:

- i) Catastro de sitios: listado a partir de denuncias de la población
- ii) Evaluación preliminar del sitio.
- iii) Inspección del sitio: en la etapa ii) y iii) se obtiene información acerca del sitio y se analiza según los componentes ambientales que están potencialmente contaminados.

- iv) Ranking de peligrosidad, del cual según el puntaje obtenido, es incluido en una lista nacional de sitios prioritarios para determinar las técnicas de remediación necesarias para cada caso.

Este método es cuantitativo ya que realiza cálculos numéricos para estimar el riesgo, se basa en datos toxicológicos y epidemiológicos, con lo que apunta a cumplir con las exigencias expuestas por las normativas que correspondan.

**Manual de gestión de sitios contaminados de la Compañía Ambiental del Estado de São Paulo (CETESB-GTZ, 1999).**

Realizado en conjunto con el Gobierno de Alemania a través de su Sociedad para la Cooperación Técnica (GTZ por sus siglas en alemán) en conjunto con la Compañía de Tecnología y Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB). Posee cuatro etapas principales:

- i) Definición de la región de interés
- ii) Identificación de áreas potencialmente contaminadas
- iii) Evaluación preliminar
- iv) Investigación confirmatoria

Luego de estas etapas, se aplica otra donde se recupere el sitio mediante una investigación detallada del sitio, evaluación del riesgo y remediación. Se consideran áreas potencialmente contaminadas para el suelo y aguas subterráneas, con sospecha de contaminación y contaminadas.

**Método Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS) (Díaz, 1999).**

Este método, evaluado en México para ser aplicado en países latinoamericanos, se adaptó de la desarrollada por la ATSDR e incluye aspectos desarrollados por la U.S EPA. Tiene tres fases principales:

- i) Listado de sitios peligrosos y una priorización preliminar de los sitios.
- ii) Inspección de los sitios (visitas a terreno), luego de la cual se califican los sitios mediante puntajes (urgencia ambiental y de salud, riesgo ambiental y de salud, y mínimo riesgo ambiental y de salud).
- iii) Evaluación de la exposición, donde se obtiene una categorización del tipo de contaminante presente en los sitios y existencia de riesgo.

Posteriormente, se propone la remediación de los sitios contaminados, sin establecer métodos para ello.

Los sitios presentes en la Lista Nacional de Prioridades (NPL, por sus siglas en inglés), descrita en el último punto son introducidos a un programa de restauración, donde se estima el riesgo, se recopila más información del sitio y estudios de factibilidad técnica y económica para llevar a cabo el plan de restauración.

### **Método de la EEA** (Altieri *et al.*, 2004)

Este método surge como una alternativa a lo propuesto por la US EPA dado el gran número de variables necesarias para su desarrollo, lo que dificulta su aplicación en otros países. Altieri *et al* (2004) proponen dos etapas principales basadas en la evaluación de riesgo y su caracterización en un ranking:

- i) Evaluación preliminar de riesgo en un sitio posiblemente contaminado
- ii) Evaluación de riesgo detallada en un sitio contaminado

La etapa uno es menos precisa que la dos, sin embargo permite la entrada de información general, que si es calificada como “alto riesgo”, pasa a ser evaluada en la segunda etapa. El riesgo se caracteriza mediante la evaluación entre fuente y receptor, mediante una vía, es decir, mediante el esquema fuente – ruta – receptor.

### **Método uruguayo** (Salvarrey y Gristo, 2005)

Este método se encuentra en la Guía para la identificación y Evaluación Preliminar de Sitios Potencialmente Contaminado y fue elaborado dentro del marco del proyecto Plan Nacional de Implementación Programa Sitios Contaminados. Contiene seis etapas que aumentan su profundidad en la investigación.

- i) Identificación de sitios
- ii) Análisis de actividades: se concentra la atención a sitios potencialmente contaminados.
- iii) Evaluación preliminar: mediante evaluación histórica, inspección y descripción.
- iv) Caracterización ambiental: se identifica la naturaleza, concentración y distribución del contaminante en el sitio y su entorno.
- v) Evaluación de riesgo: se analizan los peligros y vías de exposición de los contaminantes presentes en el sitio.
- vi) Remediación/rehabilitación

Este método se basa en la metodología brasilera de CETESB y OPS/OMS.

### **Método argentino** (SADS, 2006)

El Programa Nacional para la Gestión Ambiental de Sitios Contaminados de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SADS), contempla elementos a considerar en un método para evaluar sitios contaminados mediante las siguientes fases.

- i) Inventario de sitios potencialmente contaminados
- ii) Caracterización y priorización
- iii) Investigación detallada de sitios priorizados
- iv) Lista nacional de prioridades e intervención
- v) Registro de pasivos ambientales y proyectos de restauración
- vi) Restauración de sitios priorizados

Luego de realizada la restauración, el método plantea un plan de monitoreo mediante un sistema de vigilancia ambiental sobre los sitios contaminados y restaurados.

**Método de Briones (2003)**

En su memoria de título de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Briones propone un método donde extrae aspectos de CETESB-GTZ (1999) y propone tres etapas principales para ser aplicadas en Chile:

- i) Identificación de los sitios potencialmente contaminados.
- ii) Priorización general mediante uso de sistemas de información geográfica (SIG).
- iii) Visita a los sitios y evaluación de riesgo preliminar, aplicando una ficha básica de inspección.
- iv) Priorización detallada y listado final mediante asignación de puntajes.
- v) Investigación confirmatoria “screening”
- vi) Evaluación de riesgo detallada

Las últimas dos etapas fueron propuestas por Briones pero no desarrolladas.

**Método del Ministerio del Medio Ambiente para Chile (Fundación Chile, 2012)**

Este método, elaborado por Fundación Chile, está basado en las metodologías de Brasil (CETESB-GTZ, 1999), U.S EPA (1989) y México (Díaz, 1999) y consta de tres fases principales:

- i) Identificación, priorización y jerarquización de SPPC
- ii) Evaluación preliminar del riesgo
- iii) Evaluación del riesgo y su gestión

A pesar de que el método fue hecho en tres fases, sólo fueron aprobadas dos, por lo que su ejecución no contempla la gestión de los sitios contaminados

Respecto de los métodos existentes para la evaluación específica de PAM en Chile, se tienen dos propuestos a nivel institucional, y uno confeccionado y evaluado en una memoria de título de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Chile, al igual que el expuesto por Briones (2003) para SPPC.

**Método SERNAGEOMIN (2007).**

El método más relevante desarrollado en Chile corresponde al manual que caracterizó el riesgo en el Catastro de FMA/P, realizado por SERNAGEOMIN y JICA entre 2003 y 2007. En él se establece un análisis preliminar de riesgos, que se definió con el producto entre la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia que ello tendría.

En esta metodología se evalúan otros aspectos de las faenas mineras abandonadas además de su potencial contaminación, como la posible ruptura del muro que sostiene el tranque de relaves, la caída de personas desde paredes altas en la instalación, desde piques, accidentes con equipos o hundimiento del terreno; sin embargo no es capaz de describir y explicar la manera en que los procesos de impacto ambiental se desarrollan en el entorno y el territorio (Figueroa, 2011).

**Método SERNAGEOMIN-BGR (Golder Associates, 2008)**

Desarrollado por Golder Associates para SERNAGEOMIN y BGR, como parte del proyecto Bases para la Remediación de PAM en el convenio de cooperación Chile – Alemania, y buscó integrar el método de SERNAGEOMIN (2007) nombrado anteriormente. Las etapas planteadas por este método son:

- i) Identificar escenarios de peligro, es decir, situaciones que pueden indicar riesgo.
- ii) Identificar los receptores potenciales.
- iii) Estimar la probabilidad de que ocurra un escenario de peligro.
- iv) Estimar la severidad de consecuencias que pueda haber sobre los receptores.
- v) Aplicar la matriz de riesgos para determinar cuáles son significativos y no significativos.
- vi) Aplicar una metodología de evaluación de riesgos detalladas en aquellos casos que haya incertidumbre en el paso anterior.
- vii) Realizar una evaluación de riesgos acumulada, donde se revisa la evaluación desarrollada en caso de que exista otra FMA/P en las cercanías.
- viii) Clasificar las FMA/P resultantes según prioridad según la magnitud de riesgos que representen.

**Método de Bravo (2008)**

Esta memoria perteneciente a la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Chile, se basó en el método de la EEA sin embargo se le agregó una etapa más:

- i) Pre-selección de sitios
- ii) Evaluación preliminar de riesgo en un sitio posiblemente contaminado
- iii) Evaluación de riesgo detallada en un sitio contaminado

La primera etapa tiene como objetivo reducir el número de sitios a evaluar en la siguiente etapa. En el método se establecen las fuentes, rutas y receptores posibles de encontrar en los PAM respecto de la salud humana y elementos ecológicos. Para cada uno de ellos se establece un puntaje que es sometido a una ecuación para determinar el riesgo.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Área de estudio

El presente trabajo se realizó en la Región Metropolitana de Santiago (RMS). Esta se compone de seis provincias: Chacabuco, Cordillera, Maipo, Melipilla, Talagante y Santiago, ubicándose en ésta última la capital del país, Santiago de Chile. En total la región se compone de 52 comunas (GORE RMS, 2012).

Esta región cuenta con una superficie de 15.403,2 km<sup>2</sup>, y aunque es de las más pequeñas, tiene la mayor densidad poblacional del país, con 446,9 hab/km<sup>2</sup>, siendo la que la sigue la Región de Valparaíso con 107,3 hab/km<sup>2</sup> (INE, 2010).

Respecto de la geomorfología, se pueden destacar (de Este a Oeste) la Cordillera de Los Andes con volcanes de hasta 6.570 msnm, la depresión intermedia (o Cuenca de Santiago) y la Cordillera de la Costa, que alcanza alturas de hasta 2.000 msnm. Estas características determinan el clima de la región, ya que la Cordillera de la Costa impide la penetración de las condiciones que provienen de la costa, lo que permite la existencia de un secano interior. Esto tiene explica que la región posea un Clima Templado del tipo Mediterráneo con estación seca prolongada e inviernos fríos (pudiendo llegar a los 0 °C) y lluviosos. Por otro lado, la región también tiene el Clima Frío de Altura, que como su nombre lo indica, se ubica en las alturas, más específicamente sobre los 3.000 msnm en la Cordillera de Los Andes, donde se registran bajas temperaturas que permiten la existencia de precipitaciones sólidas, con lo que se acumulan nieves y hielos (BCN, 2002).

Con respecto a la vegetación, la región presenta tres zonas vegetacionales: Estepa Alto Andina, Matorral y Bosque Esclerófilo, y Bosque Caducifolio, comprendiendo ocho formaciones vegetacionales descritas por Gajardo (1994). Destacan el Bosque Caducifolio de Santiago, Bosque y Matorral Esclerófilo Andino, Estepa Alto Andina de Santiago, Matorral Espinoso de la Cordillera de la Costa y del Secano Costero. El bosque nativo se ubica principalmente en las comunas de Alhué, Melipilla, Curacaví, Paine, San Pedro, Lo Barnechea y Pirque (SINIA, s.a).

Respecto de la fauna, un 48% del total de los vertebrados terrestres se encuentran entre la Región de Valparaíso y Metropolitana, y al igual que las especies vegetales, se han visto perjudicados en gran medida por la destrucción de su hábitat (SINIA, s.a).

## Método

El método a utilizar para llevar a cabo los objetivos específicos 1 y 2, se describe a continuación de manera diferenciada para cada uno de ellos.

### Identificación, priorización y jerarquización de pasivos ambientales mineros potencialmente contaminados

Esta primera etapa se puede apreciar en la Figura 1, donde se muestran los pasos a seguir para su cumplimiento.

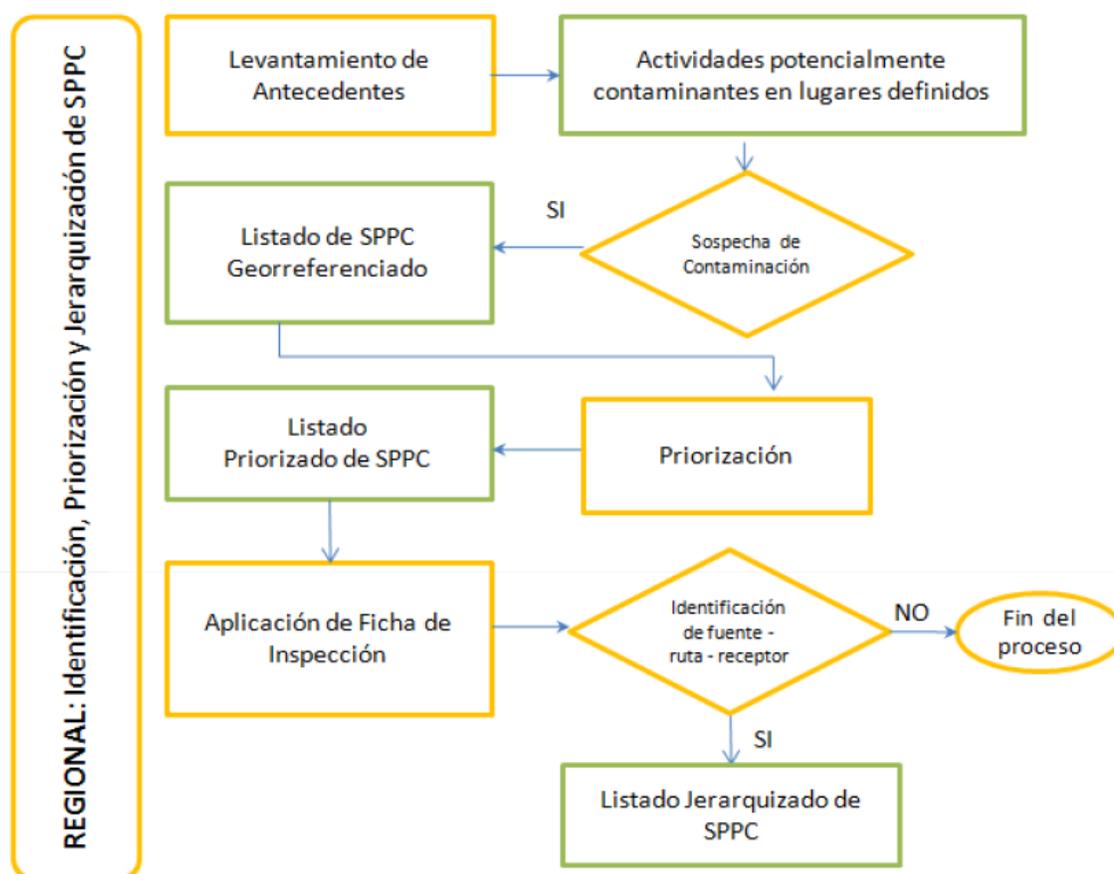


Figura 1 Ilustración para la identificación, priorización y jerarquización de SPPC  
(Fuente: Fundación Chile, 2012)

La forma de llevar a cabo esta etapa fue mediante el desarrollo de cuatro actividades: a) levantamiento de información, b) identificación y georreferenciación de SPPC, c) priorización de SPPC y d) inspección de SPPC.

- a. **Levantamiento de información:** se realizó para identificar aquellos sitios o lugares donde se ubique o haya estado ubicada una actividad potencialmente contaminante, bajo el supuesto de que dicha actividad debe estar asociada a la producción, manipulación, uso, almacenamiento o disposición de residuos peligrosos, con la generación de contaminantes que pueden tener un impacto negativo para el medio ambiente. En la Resolución Exenta N°1690 de 2011, se establecen once actividades que cumplen estas características, donde se incluye la actividad minera.

La solicitud de información a los servicios fue realizada a través la SEREMI de Medio Ambiente de la Región Metropolitana a comienzos del año 2012, quien actuó de intermediario, sin perjuicio de la posterior recopilación y procesamiento de la información realizado de manera personal.

- b. **Identificación y georreferenciación de suelos:** una vez terminada la actividad anterior, se procedió a ordenar en gabinete la información obtenida, para posteriormente georreferenciarla mediante el software Google Earth, disponible de forma online. De esta forma se obtuvo la ubicación espacial de todos los sitios informados por los organismos en el punto anterior.
- c. **Priorización de sitios con potencial presencia de contaminantes:** esta actividad se realizó en base a criterios ambientales y demográficos, de manera de definir a qué lugares era más urgente ir. Los criterios fueron:
- Población residente: se basa en la cercanía de la población a la fuente contaminante. Se consideró la variable de mayor relevancia, y su ponderación fue en base a la distancia a la que se encontraba el centro poblado de la fuente:
    - Independiente del número de habitantes, aquella población que utilice el suelo de forma residencial hasta dos kilómetros de radio desde el área de estudio, se consideró de prioridad alta.
    - Si la zona residencial está entre dos y tres kilómetros del área de estudio, se consideró mediana prioridad.
  - Sistemas hídricos: pueden ser aguas superficiales o subterráneas
    - En caso de que el agua, sin importar su origen, sea utilizada para agua potable, se consideró como alta prioridad.
    - En caso contrario, se asignó mediana prioridad.
  - Uso de suelo: se consideraron usos agrícola, recreacional, comercial /industrial. En cualquiera de estos casos, la prioridad fue media.
  - Ecosistemas sensibles o de alta relevancia: se consideraron áreas protegidas o de relevancia. En caso de que éstos se afectasen, se asignó una prioridad baja.

En caso de que ninguno de estos criterios se cumpliera, el sitio se categorizó como “no priorizado”

Cabe destacar, que para la información de los sistemas hídricos se consultó una base de datos de la DGA del año 2003 acerca de derechos de agua históricos, tanto superficiales como subterráneos. En esta base de datos, se establecía, entre otras cosas, el tipo de uso que se le daba al agua y las coordenadas de captación.

Para identificar el uso de suelo se utilizó el Plan Regulador Metropolitano de Santiago del año 2006 disponible en la SEREMI MA RM en formato kmz. Este mismo documento fue de utilidad para definir la presencia de ecosistemas sensibles, datos que se sumaron a las zonas adscritas al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), áreas de preservación ecológica y sectores considerados como áreas de protección de ecosistemas vegetacionales. Todos los datos nombrados estaban también disponibles en las dependencias de la SEREMI MA RM en formato kmz.

Los criterios y su relación con la priorización se muestran en la Figura 2

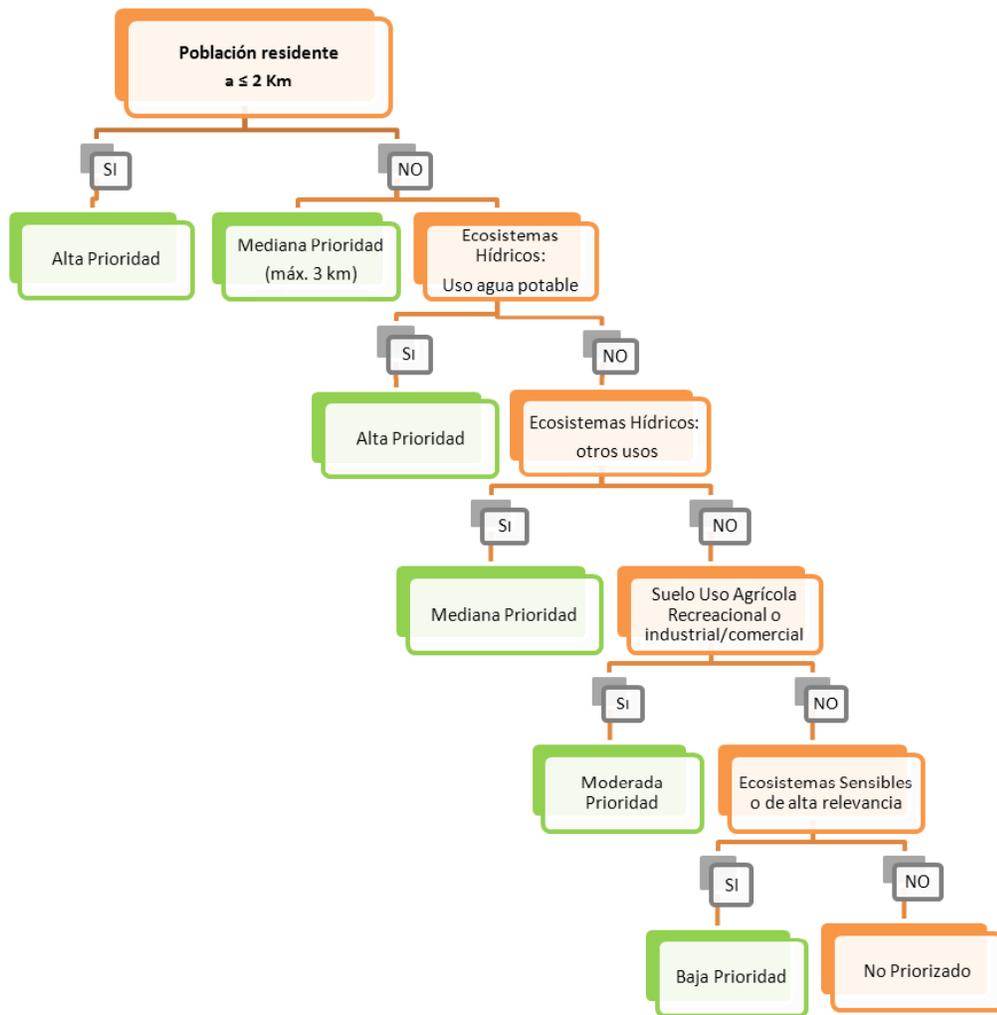


Figura 2. Árbol de decisión para la priorización de SPPC  
(Fuente: Fundación Chile, 2012)

- d. **Inspección de suelos:** se visitaron aquellos sitios que presentaron mayor prioridad en la etapa anterior, registrándose la información en una ficha de inspección (Apéndice 1). El propósito de esta ficha fue permitir suponer o no, la existencia de un potencial riesgo para la población, asignando un puntaje de riesgo relativo preliminar, enfocándose en la presencia de una fuente de contaminación, vía de exposición, y personas eventualmente expuestas, lo que permitió determinar, en ciertos casos, la presencia de la fuente, la ruta y el receptor.

A aquellas variables expuestas en la ficha que formasen parte de la fuente, ruta o receptor se les asignó un valor, de modo de obtener un puntaje en forma porcentual de cada sitio visitado, a objeto de determinar qué sitios son más urgentes de seguir analizando dado su riesgo preliminar a la salud. El cálculo del puntaje se puede ver en la Ecuación 1.

$$Puntaje = \frac{F + Ru + Re}{3} \times 100$$

Ecuación 1

Donde,

*F* : Fuente

*Ru* : Ruta

*Re* : Receptor

A su vez, cada ítem se compone de otros elementos, que le otorgan el puntaje total. Las siguientes ponderaciones derivan de los métodos en los cuales se basó la metodología aplicada, vale decir, de la US EPA (1989), CETESB-GTZ (1999) y Díaz (1999) mostrados en la Revisión y Análisis de Antecedentes:

- i. Fuente (F): el puntaje máximo del ítem fuente es de 1 punto
  - Sospecha de contaminación en el sitio
    - Sí: 0,5 punto
    - No: 0 punto
  - Contaminante asociado a dicha sospecha (por cada contaminante que se seleccione se sumará 0,1 punto)
    - Metales o metaloides
    - Agroquímicos (no COP)
    - Compuestos orgánicos persistentes (COP)
    - Sales inorgánicas
    - Hidrocarburos y aceites minerales
- ii. Ruta (Ru): se otorgará el puntaje asignado sólo si se sospecha de alguno de estos aspectos como una potencial ruta. El puntaje máximo del ítem ruta es de 1 punto
  - Agua de consumo humano: 0,2 puntos
  - Suelo: 0,15 puntos

- Agua superficial: 0,15 puntos
  - Sedimentos: 0,05 puntos
  - Aire: 0,2 puntos
  - Frutas y hortalizas: 0,1 puntos
  - Peces: 0,1 puntos
  - Lácteos y carnes: 0,05 puntos
- iii. Receptor (Re): el puntaje máximo del ítem receptor es de 1 punto
- Distancia de las personas a la fuente
    - Menos de 2km: 0,6 puntos
    - Entre 2 y 3km: 0,4 puntos
  - Cantidad de personas expuestas
    - Menos de 1.000: 0,1 puntos
    - Entre 1.000 y 10.000: 0,2 puntos
    - Entre 10.000 y 100.000: 0,3 puntos
    - Más de 100.000: 0,4 puntos

### **Criterios F – Ru – Re:**

Los siguientes criterios fueron establecidos especialmente para el presente trabajo:

**Fuente (F):** Para definir si un sitio podría estar potencialmente contaminado se consideró lo entregado por el SERNAGEOMIN y lo visto en terreno, discriminando por presencia y ausencia de material procesado que pudiese entrar en contacto con personas, animales o interactuar con el medio ambiente; como tranques de relave, acopios o plantas de procesamiento.

Respecto del tipo de contaminante, en este caso sólo se trabajó con metales y metaloides, puesto que el objeto de estudio fueron las faenas mineras.

**Ruta (Ru):** Para definir la ruta que pudiese tomar la fuente, en el caso del agua se utilizaron las mismas bases de datos que en la etapa de priorización, vale decir, aguas superficiales y subterráneas, así como sus usos. Respecto del suelo, se determinó que si el contaminante pudiese transportarse a otros lugares por este medio, se le asignaría el puntaje. Lo mismo ocurrió en el caso del aire y los sedimentos. Por último, en el caso de frutas y hortalizas, peces, lácteos y carnes, se consideraron siempre y cuando existieran actividades agrícolas, acuícolas o pecuarias en un radio de 3 km, como lo establece el método.

**Receptor (Re):** El rango de personas afectadas se calculó según la densidad demográfica observada, mientras que la distancia desde la fuente al receptor se calculó mediante una herramienta de software.

Cada ítem (F, Ru, Re), tiene un valor total de 1 punto en caso de cumplirse con todos los criterios. Si la sumatoria de ellos fuese 3, entonces el puntaje del sitio en cuestión sería 100%, arrojando una alta jerarquía, como se ve en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Jerarquías clasificadas y descripción

Puntaje	Descripción
0-30%	Baja jerarquía
30-60%	Mediana jerarquía
60-100%	Alta jerarquía

### Selección y evaluación el pasivo ambiental minero potencialmente contaminado con mayor jerarquía.

Luego de cumplir con el objetivo específico 1, se seleccionó aquel SPPC que según el listado jerarquizado, resultó tener mayor prioridad. Posteriormente, se siguió el esquema ilustrado en la Figura 3.

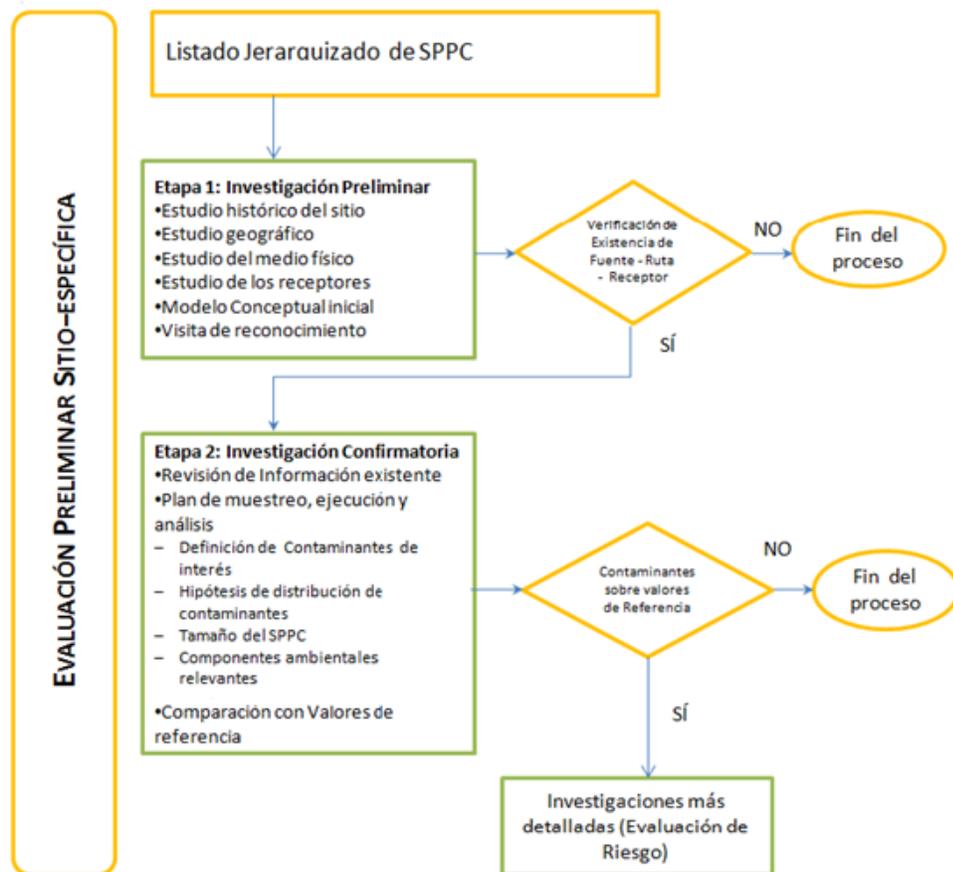


Figura 3. Esquema de la secuencia de la evaluación preliminar del SPPC.  
(Fuente: Elaboración propia basado en Fundación Chile, 2012)

La investigación preliminar comenzó con la recopilación de antecedentes existentes que permitiesen llevar a cabo las actividades requeridas para el cumplimiento de este objetivo específico. Detalladamente, estas actividades fueron:

#### Etapa 1: investigación preliminar

- Estudio histórico: el propósito de este punto, fue confirmar la sospecha de contaminantes, acotar las zonas a investigar y antecedentes que permitan definir el o los contaminantes que se esperaban encontrar. Se debió ubicar el SPPC, verificar entre qué años se realizó la actividad, el material que se procesó y antecedentes de incidentes ambientales.
- Estudio geográfico: correspondió a la ubicación geográfica específica del sitio
- Estudio del medio físico: se definieron aspectos generales que incluyeron la climatología local, contexto geológico, existencia de aguas subterráneas y superficiales y antecedentes hidrogeológicos generales.
- Estudio de los receptores: se consideraron aquellos receptores potencialmente expuestos y aquellos que fuesen más sensibles dadas sus actividades.
- Análisis de información y desarrollo del modelo conceptual: mediante los antecedentes recopilados, se realizó un esquema y un mapa conceptual a modo de interpretar la situación en el área de estudio.

#### Etapa 2: Investigación confirmatoria

Para esta etapa, se modificó y adaptó el método original para utilizar antecedentes bibliográficos que permitieran determinar el tipo y concentración de contaminantes. Se contó con el “Informe Fundo El Llano de Refimet”, elaborado por SERNAGEOMIN en conjunto con el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR) en 2005, el estudio “Origen y Difusión de Arsénico en Aguas Subterráneas de la Subcuenca de Rungue”, elaborado por Rubio y Rocco, de la Universidad de Santiago de Chile en 2011. Además, informes de ensayo de la Cooperativa de Agua Potable Rungue.

Con esto se definió el contaminante de interés, una hipótesis acerca de la distribución del contaminante, el tamaño del sitio, los componentes ambientales relevantes y los niveles de contaminación de los mismos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A objeto de facilitar la presentación de la información y la lectura, este capítulo está organizado en función de cada objetivo específico, presentando para cada uno sus respectivos resultados y discusión.

### **Identificación, priorización y jerarquización de pasivos ambientales mineros potencialmente contaminados.**

#### **Resultados**

##### **Levantamiento de información**

Dado que esta actividad fue realizada en colaboración con la SEREMI MA RM, la información obtenida se basó en aquella que fue aportada por los organismos consultados. Fueron consultados un total de 14 servicios: SEREMI de Salud RM, Brigada Investigadora de Delitos Contra el Medio Ambiente y Patrimonio Cultural de la Región Metropolitana, dependiente de la Policía de Investigaciones (BIDEMA PDI), Consejo de Defensa del Estado, Comisión Nacional de Riego (CNR), Corporación Nacional Forestal de la Región Metropolitana (CONAF RM), Servicio Agrícola y Ganadero Región Metropolitana (SAG RM), SEREMI de Agricultura RM, Dirección Nacional de Aguas Región Metropolitana (DGA RM), SEREMI del Ministerio de Obras Públicas (SEREMI MOP RM), Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), SEREMI de Bienes Nacionales de la Región Metropolitana (SEREMI BB.NN RM), SEREMI del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (SEREMI MINVU RM), Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y SEREMI de Minería RM. De los anteriores, respondieron seis. Los servicios que entregaron información acerca de faenas mineras abandonadas o paralizadas (FMA/P) fueron tres: SERNAGEOMIN, DGA y BIDEMA PDI.

Estos tres organismos otorgaron información sobre ubicación de FMA/P sin embargo hubo ocasiones en que los sitios se repitieron al ser informados por más de un servicio. Esto derivó en que la base de datos utilizados fueran aquellos otorgados por el SERNAGEOMIN.

##### **a. Identificación y georreferenciación de sitios**

Luego de tener la lista de sitios, se ubicó geográficamente cada faena según información de SERNAGEOMIN. El georreferenciar las FMA/P permitió dar cuenta de que las coordenadas entregadas por este servicio en ciertos casos se repetían, o bien en un mismo

predio o terreno se encontraron hasta cuatro nombres distintos para una misma faena, por lo que fue necesario suprimir aquellas que se repetían y considerar sólo una de ellas. Esto fue consultado y constatado en terreno al momento de visitar el lugar, por lo tanto cada sitio que estaba representado con más de un nombre se le asignó aquel que los entrevistados del mismo sitio tomaron como actual o más reciente.

Puesto que el método fue aplicado a faenas abandonadas o paralizadas, tampoco fueron consideradas aquellas que contaban con planes de cierre vigentes o bien se encontraban aún en funcionamiento. Estos hechos se conocieron al momento de visitar los sitios, donde los entrevistados dieron conocimiento de ello. La faena activa corresponde a El Resguardo, visitada el 13 de noviembre de 2012, en donde aún se procesa mineral a pesar de que éste no proviene de los antiguos piques. Respecto de aquellas faenas que están siendo reguladas y que cuentan con un plan de cierre, éstas son Lo Aguirre y La Africana, ambas visitadas el 27 de noviembre de 2012.

En el Cuadro 2 se puede ver este listado con sus respectivas coordenadas geográficas en UTM WGS84.

Cuadro 2. Faenas mineras identificadas y sus coordenadas geográficas

Código de identificación	Faena	Coordenadas	
		Este	Norte
PAM1	Faena Minera Lo Águila 1	300541	6299777
PAM2	Faena Minera Lo Águila 2	300957	6298666
PAM3	Mina Alaska	295920	6306532
PAM4	Lavadero de Oro Lampa	323858	6314131
PAM5	May May	323599	6315033
PAM6	San Miguel	322958	6313965
PAM7	Suc Jorge Lahilacar Escoffier	330306	6348283
PAM8	La Perseguida	323485	6282320
PAM9	Planta Pelvin	322576	6279967
PAM10	Lo Valdés	402051	6256511
PAM11	Ex Fundación de Naltahua	315447	6266490
PAM12	El Guindo	330585	6349232
PAM13	El Sauce	320065	6335333
PAM14	Planta Anita	318930	6338714
PAM15	Refimet	323829	6347100
PAM16	Los Maquis de Rangué	318770	6252695
PAM17	Mina La Negra	323250	6338620
PAM18	Mina San Aurelio 3 y 4	316936	6336193
PAM19	Planta El Membrillo	323120	6232839
PAM20	Planta Los Carreras	305866	6278820

### Priorización de sitios con potencial presencia de contaminantes

De la lista anterior se elaboró una priorización de acuerdo a los criterios expuestos en el método. Estos resultados se exponen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Lista priorizada de las faenas mineras identificadas

Código	Nombre faena	A	B	C	D	E	F	Clasificación
PAM1	Faena Minera Lo Águila 1	x			x	x		Alta prioridad
PAM2	Faena Minera Lo Águila 2	x			x			Alta prioridad
PAM3	Mina Alaska	x			x		x	Alta prioridad
PAM4	Lavadero de Oro Lampa	x			x		x	Alta prioridad
PAM5	May May	x			x		x	Alta prioridad
PAM6	San Miguel	x			x		x	Alta prioridad
PAM7	Suc Jorge Lahilacar Escoffier				x		x	Mediana prioridad
PAM8	La Perseguida	x			x	x		Alta prioridad
PAM9	Planta Pelvin	x			x			Alta prioridad
PAM10	Lo Valdés	x			x	x	x	Alta prioridad
PAM11	Ex Fundición de Naltahua	x		x	x		x	Alta prioridad
PAM12	El Guindo		x		x			Mediana prioridad
PAM13	El Sauce	x			x		x	Alta prioridad
PAM14	Planta Anita	x			x		x	Alta prioridad
PAM15	Refimet	x		x	x		x	Alta prioridad
PAM16	Los Maquis de Rangue	x		x			x	Alta prioridad
PAM17	Mina La Negra	x			x		x	Alta prioridad
PAM18	Mina San Aurelio 3 y 4	x			x		x	Alta prioridad
PAM19	Planta El Membrillo				x		x	Mediana prioridad
PAM20	Planta Los Carreras	x			x	x		Alta prioridad

Donde,

A : Población a menos de 2 kilómetros

B : Población entre 2 y 3 kilómetros

C : Presencia de ecosistemas hídricos para agua potable a menos de 3 kilómetros

D : Presencia de ecosistemas hídricos para otros usos a menos de 3 kilómetros

E : Uso de suelo agrícola, recreacional, industrial o comercial a menos de 3 kilómetros

F : Presencia de ecosistemas sensibles a menos de 3 kilómetros

### Inspección de sitios

De la priorización mostrada en el Cuadro 3, se realizaron visitas a terreno a aquellas faenas que presentaban una alta prioridad. Sin embargo aquellas donde en el catastro de FMA/P de SERNAGEOMIN se establecía que presentaban sólo estériles, piques o desmontes, no fueron visitadas por no considerarse potencialmente contaminantes a priori. Estas fueron PAM3, PAM5, PAM6 y PAM10 que presentaban desmontes, además de PAM18 que comprendía sólo un pique.

Hubo casos donde se procedió a la visita, sin embargo debido a dificultades presentadas por el terreno, como lo son caminos de tierra en mal estado, se optó por no continuar dado que ello podría significar un riesgo de accidente. Este fue el caso de los PAM7, PAM12 y PAM19. En el Cuadro 4 se muestran las visitas realizadas, tanto sus fechas como los sitios.

Cuadro 4. Fechas y lugares de visitas a terreno

Código	Nombre	Fecha visita
PAM1	Faena Minera Lo Águila 1	27-11-2012
PAM2	Faena Minera Lo Águila 2	27-11-2012
PAM4	Lavadero de Oro Lampa	13-11-2012
PAM8	La Perseguida	22-11-2012
PAM9	Planta Pelvin	20-11-2012
PAM11	Ex Fundición de Naltahua	28-11-2012
PAM13	El Sauce	08-11-2012
PAM14	Planta Anita	10-01-2013
PAM15	Refimet	08-11-2012
PAM16	Los Maquis de Rangué	28-11-2012
PAM17	Mina La Negra	10-01-2013
PAM20	Planta Los Carreras	20-11-2012

Respecto del llenado de la ficha de inspección en terreno (ver Anexo 1), hubo datos que no fueron posibles de completar dada la especificidad solicitada. Esto se debió a situaciones como no lograr entrevistar a personas relacionadas con la FMA/P, no poder acceder a la totalidad de las instalaciones, o bien las personas entrevistadas no tenían conocimiento de las actividades que se realizaron en el lugar.

Respecto de la jerarquización de los SPPC, sus resultados se muestran en el Cuadro 5

Cuadro 5. Jerarquización mediante porcentaje de importancia de cada FMA/P

Rk	Código	Empresa	Puntaje (%)	Descripción
1	PAM15	Refimet	72%	Alta jerarquía
2	PAM1	Faena Minera Lo Águila 1	67%	Alta jerarquía
3	PAM2	Faena Minera Lo Águila 2	67%	Alta jerarquía
4	PAM11	Ex Fundición de Naltahua	65%	Alta jerarquía
5	PAM20	Planta Los Carreras	65%	Alta jerarquía
6	PAM16	Los Maquis de Rangue	62%	Alta jerarquía
7	PAM8	La Perseguida	62%	Alta jerarquía
8	PAM9	Planta Pelvin	60%	Alta jerarquía
9	PAM13	El Sauce	60%	Alta jerarquía
10	PAM14	Planta Anita	57%	Mediana jerarquía
11	PAM3	Mina Alaska	37%	Mediana jerarquía
12	PAM5	May May	35%	Mediana jerarquía
13	PAM4	Lavadero de Oro Lampa	30%	Mediana jerarquía
14	PAM19	Planta El Membrillo	30%	Mediana jerarquía
15	PAM6	San Miguel	25%	Baja jerarquía
16	PAM12	El Guindo	23%	Baja jerarquía
17	PAM10	Lo Valdés	22%	Baja jerarquía
18	PAM17	Mina La Negra	20%	Baja jerarquía
19	PAM18	Mina San Aurelio 3 y 4	7%	Baja jerarquía
20	PAM7	Suc Jorge Lahilacar Escoffier	5%	Baja jerarquía

## Discusión

Luego de concluir con la identificación, priorización y jerarquización de los PAM, se puede destacar que en el caso de las FMA/P el método dio el resultado esperado, vale decir, entregó un listado de sitios con su respectiva jerarquización, y dado que además se contó con información del SERNAGEOMIN, las faenas pudieron ser identificadas, georreferenciadas, priorizadas y jerarquizadas considerando los aspectos expuestos en el método. Sin embargo, esto sólo fue posible de realizar con un número limitado de sitios.

Los criterios para la priorización (ver Figura 2, árbol de decisión) indican que aquel que posee la mayor relevancia es la distancia del SPPC a un área poblada. Si ésta se encuentra a menos de 2 km, el sitio se catalogará automáticamente con una “Alta prioridad”. En este contexto y según la experiencia adquirida en el desarrollo de esta investigación, es muy factible que uno de estos lugares se encuentre a una distancia menor de la indicada respecto de algún tipo de población, sea ésta una casa aislada o una ciudad. Sólo para el caso de las FMA/P desarrolladas, un 85% de ellas se encontró en esta condición, lo cual es un porcentaje elevado si se toma en cuenta de que en su mayoría se encontraban en terrenos

rurales o relativamente alejados de la ciudad, pero no lo suficiente como para dejar de tener la calidad de “Alta prioridad” debido a la cercanía a la población. Más aún, esta cercanía pudo haberse producido en el tiempo, con construcciones bienposteriores a la instalación de la faena.

Esto también se puede ver reflejado en otras actividades industriales abordadas por este método (no así por esta investigación), como los son las refinerías de petróleo, aserraderos, botaderos ilegales e industrias artesanales, entre otras; que usualmente se encuentran cercanas a la ciudad o al menos cercanas a centros poblados. Un claro ejemplo, y que está estrechamente ligado a la actividad humana, son los vertederos ilegales de residuos sólidos (VIRS) que adicionalmente cambian en el tipo y volumen de desechos rápidamente al estar al alcance de las personas. La gravedad de los VIRS dependerá de los residuos que hayan en él, pero esto no se puede saber a priori, sino que debe ser visitado para determinarlo. En este contexto, el método no permite diferenciar en la etapa de priorización qué sitio (o vertedero en este caso) tiene una mayor preponderancia para ser visitado sobre otro, puesto que el criterio utilizado para ello es el mismo para los todos.

En el caso puntual de la RM, siendo la región de Chile con la mayor densidad poblacional del país ( $446,9 \text{ hab/km}^2$ ), muy probablemente se hallarán personas habitando áreas rurales de la región en las cercanías de sitios potencialmente contaminados, correspondiendo a una zona de “Alta prioridad” de visita. Dicha situación requiere un gasto adicional de energías y recursos por parte del organismo que aplica el método, no considerando el hecho que no siempre se puede visitar una gran cantidad de sitios para definir si son realmente relevantes o no.

Otro aspecto relevante en la aplicación del método, es que en ciertas ocasiones puede ocurrir que no se cuente con todos los antecedentes necesarios para elaborar la jerarquización, en especial en la fuente y ruta. En el primer caso (fuente), existen conflictos en discriminación de sospecha de contaminantes y su tipo, ya que se debe conocer el tipo de residuos que se manejaron en el lugar, información que no siempre se encuentra disponible. En el caso de los PAM, esta discriminación pudo llevarse a cabo gracias a la información entregada en el catastro de FMA/P del SERNAGEOMIN, donde se establecía si en el lugar había un pique, relaves, desmontes o plantas de procesos. Sin embargo existen SPPC de los cuales no es posible establecer el tipo de contaminante existente en él. El caso de los VIRS es el mejor ejemplo, donde las personas pueden verter o arrojar cualquier tipo de elemento sin ningún control, con lo que se hace imposible prever lo que se espera encontrar en dichos lugares. Adicionalmente a esto, el método no establece una alternativa para estos casos, donde se sospecha la existencia de contaminantes sin establecer concretamente de cuál pudiera tratarse.

En el caso de la ruta, el método no es claro respecto de los criterios utilizados para seleccionar aquellas rutas que podrían participar en cada caso, puesto que depende de quién aplique el método y sus conocimientos técnicos y experiencia profesional. A modo ilustrativo, podrían ser consideradas en la categoría receptores algunas de las rutas, como lo es el aire, que si bien es una ruta para llegar a la población humana, ya sea por inhalación o

transporte y posterior depósito, también es potencial receptor. También puede ocurrir que entre los mismos receptores ocurran interacciones y que se afecten entre ellos, por lo que es indispensable evaluar previamente cada uno de los elementos.

Sin perjuicio de lo anterior, el presente trabajo consideró tal situación, y se explican y fundamentan los criterios a utilizados para cada ruta propuesta en el método original.

Respecto de una mirada más antropocéntrica de los fenómenos naturales, es posible inferir que la contaminación pueda llegar a afectar a las personas de acuerdo con su propia interacción con los elementos naturales, como los son el suelo, agua o aire: el suelo permite el desarrollo de actividad agrícola, además de ser un soporte para asentamientos; en el caso del agua, ésta permite regar aquellos productos agrícolas provenientes de la tierra, además de bebida de animales o consumo humano. En este contexto, es indispensable considerar la forma en que las personas tienen contacto con estos elementos para saber cómo podrían verse afectados en caso de que éstos estén bajo algún tipo de contaminación: contacto dérmico directo (con el suelo, sedimentos o agua contaminados), ingestión (agua, productos agrícolas y/o pecuarios contaminados) o inhalación (del aire contaminado).

Otro aspecto a considerar en este caso, es la temporalidad; el método no permite obtener un comportamiento esperado del SPPC a lo largo del tiempo, ya que es una fotografía de la situación particular detectada al momento de realizar el trabajo. Esto puede no resultar de forma tan clara para el caso de los PAM, ya que al estar abandonados y en sitios en general cerrados, su situación no varía de la misma forma en que lo podría hacer un VIRS, el cual se ve intervenido todos los días por la población circundante. Si bien se recomienda que el procedimiento se repita, por sí mismo no es suficiente para determinar el comportamiento del SPPC, ya que sólo considera su estado en un período determinado, es decir, aquel en el cual la investigación se realizó.

## **Selección y evaluación del pasivo ambiental minero potencialmente contaminado con mayor jerarquía.**

### **Resultados**

Es necesario recordar que el método, en su primera parte, concluye con la determinación del pasivo ambiental minero potencialmente contaminado con mayor jerarquía. La etapa siguiente corresponde a la profundización de los antecedentes históricos, geográficos, del medio físico y de los potenciales receptores de ese sitio seleccionado.

La aplicación del método hasta este punto, arrojó como resultado que la faena minera Refimet fue aquella que obtuvo la mayor jerarquía (Cuadro 5). A continuación se abordan los aspectos señalados en el párrafo anterior.

### **Etapas 1: Investigación preliminar**

- Estudio histórico del sitio

Según un reportaje realizado por CNN Chile (2010), Refimet surge en el año 1981 en la localidad de Rungue, 54 km al norte de Santiago en la comuna de Tiltil (ver Figura 4). El de la empresa es tratar concentrados de oro y cobre derivados de la Compañía Minera El Indio, con altos contenidos de arsénico que no podían ser procesados por ENAMI en la refinera de Ventanas (Región de Valparaíso), para lo cual se sometía a estos materiales a un proceso de tostación (o sublimación) de As en atmósfera reductora (con S como reductor), con lo que se obtenía, luego del enfriamiento y precipitación de los gases, trisulfuro de arsénico ( $As_2S_3$ ) en un medio acuoso (SERNAGEOMIN, 2005 y CICA Ingenieros Consultores, 1990).

Estos desechos eran llevados a tranques construidos con muros de tierra y revestidos interiormente con polietileno termosellado de alta densidad (HDPE) de entre 0,7 y 1mm de espesor. Luego de completada la capacidad, se extrajo el exceso de agua de los desechos y luego se cubrieron sólo con tierra (CICA Ingenieros Consultores, 1990). Se estima que en ellas se acumularon a lo menos 4.800 toneladas de residuos arsenicales, que fueron transportados de forma continua en camiones cisterna que los descargaban en los tranques (Rubio y Rocco, 2011).

Luego, en el año 2003, el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR) inspeccionó el sitio en el marco del proyecto Bases para la Remediación de PAM, encontrando un depósito no informado y sin impermeabilización en su base. Con el objetivo de tomar muestras en dicho lugar, regresaron tiempo después y se encontraron con que dichos depósitos habían sido removidos del lugar inicial, y presuntamente puestos en aquellos que se encontraban autorizados. Así mismo, éstos últimos fueron cubiertos con



El área de estudio comprendió el Fundo El Llano de Refimet en la comuna de Tilttil, donde se ubican los depósitos arsenicales a los cuales la empresa Refimet vertió arsénico durante aproximadamente 10 años de procesamiento de oro y cobre. En la Figura 5 se puede ver ésta área con mayor precisión.



Figura 5. Área que contempla la Fundación Refimet y los depósitos arsenicales en la comuna de Tilttil, Región Metropolitana.

Más específicamente, en la Figura 6 se pueden ver los depósitos arsenicales y su variación en los años 2005, 2006 y 2010. En la primera imagen, de 2005, se puede observar parte del sin la carpeta que cubre su superficie, y que sí se aprecia en la imagen de 2006, donde su totalidad se encuentra cubierto. Finalmente, la imagen del año 2010 corresponde a la condición actual del depósito, donde todo el tranque se encuentra cubierto con la membrana y posteriormente tapado con suelo aledaño.

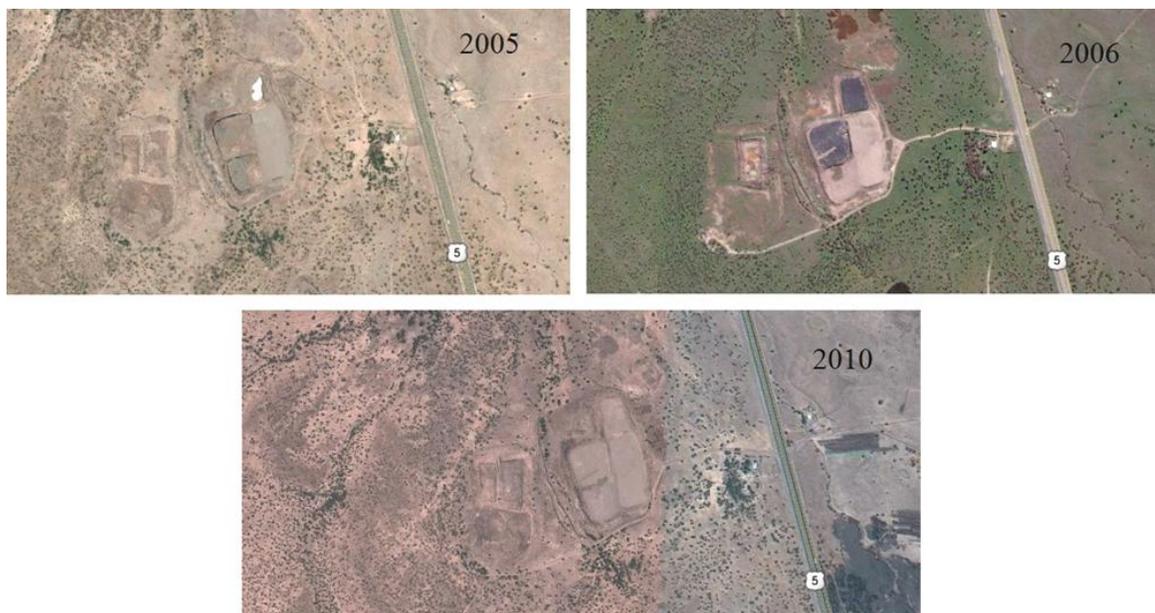


Figura 6. Depósitos arsenicales de Refimet y su variación en los años 2005, 2006 y 2010 según imágenes disponibles en Google Earth.

- Estudio del medio físico

El área seleccionada se ubica en la parte media del sector llamado Llano de Rungue a aproximadamente 715 msnm. Generalmente, la pendiente es baja, sin embargo es capaz de recibir aguas superficiales con lo que en períodos de lluvia pueden presentarse flujos de barro en aquellos sectores que tengan mayor pendiente e inundaciones en aquellos con menor pendiente (SERNAGEOMIN, 2005).

El clima de la región es en general mediterráneo, con lluvias invernales y períodos secos en verano, no obstante, dado que el área de estudio se encuentra al norte de Santiago, se ha demostrado que hay menores períodos de precipitación en esta área que en comunas del sur, sin embargo a pesar de una menor abundancia, la densidad de las mismas es mayor, teniendo un mayor poder erosivo sobre el suelo (Brignardello, 1997).

En términos generales, el entorno geológico del área de estudio se encuentra predominantemente compuesto por detritos derivados de rocas volcánicas e ígneas intrusivas. Además, en el lugar se encuentra la Formación Las Chilcas, que a la altura del área de estudio está altamente meteorizada en superficie (CICA Consultores, 1990). Las Chilcas corresponde a una unidad volcánica con depósitos calcáreos, estimándose su formación hace alrededor de 100.000 años (Tunik, 2008). Según el Estudio Agrológico de CIREN (1996), la serie de suelos que corresponde al área de estudios es Rungue, con textura arcillosa, y origen aluvio coluvial sin pendiente o ligeramente inclinado (entre 1 a 3%). La estructura del suelo corresponde a bloques angulares y su profundidad varía entre los 50 y 120cm.

En el aspecto hidrográfico, el área de estudio se encuentra dentro de la cuenca del estero Rungue. Las aguas del embalse del mismo nombre drenan a los esteros Tiltil, Polpaico, Lampa, Laguna Carén, Río Mapocho posteriormente al Río Maipo (SERNAGEOMIN, 2005)

Las aguas subterráneas en el entorno de Refimet recorren una dirección de suroeste a noreste. La misma orientación tienen las aguas superficiales, que descargan en el Estero Rungue. El factor que más incide sobre la recarga del acuífero es la infiltración especialmente en las quebradas, y en menor medida, el riego. En cuanto a la descarga del mismo, ésta se produce en el Estero Rungue mayormente y debido al uso de pozos particulares que extraen agua para distintos usos (SERNAGEOMIN, 2005).

- Estudio de los receptores

La localidad de Rungue se encuentra a aproximadamente 4 km al norte de los depósitos arsenicales y a un costado del embalse Rungue y estero del mismo nombre, sin embargo en este poblado se consume agua potable proveniente de una cooperativa de agua potable que no presenta niveles de contaminación según un informe realizado en 2011 por el laboratorio Análisis Ambientales a la fuente de agua que abastece el estanque de agua potable.

En los alrededores inmediatos del tranque, hay parcelas de gran extensión. Aquellos que residen más cerca son el cuidador del predio que alberga los tranques y un vecino en el terreno de enfrente. Se sabe que en ambos casos se utilizan pozos para extraer aguas subterráneas para bebida, según se conversó en la visita a terreno del 8 de noviembre de 2012.

Respecto a los receptores naturales, en los alrededores de los residuos arsenicales se pueden encontrar especies asociadas a matorral y pradera; espino (*Acacia caven*), litre (*Lithraea caustica*), quillay (*Quillaja saponaria*), teatina (*Avena barbata*), pasto delgado (*Vulpia dertonensis*) y coironcillo (*Nassella chilensis*), así como también especies suculentas como el quisco (*Trichocereus chilensis*) (CICA Consultores, 1990).

- Análisis de información y desarrollo de un modelo conceptual

De los antecedentes recopilados, se puede inferir que si hubiera una ausencia o deficiencia de las geomembranas bajo los tranques de residuos arsenicales, se podrían ver afectadas las aguas subterráneas, las que a su vez, dada la dirección en la que se desplazan, podría afectar el estero Rungue y con él otros cuerpos de agua alimentados por él. Con estos antecedentes, se elaboró el esquema de la Figura 7.

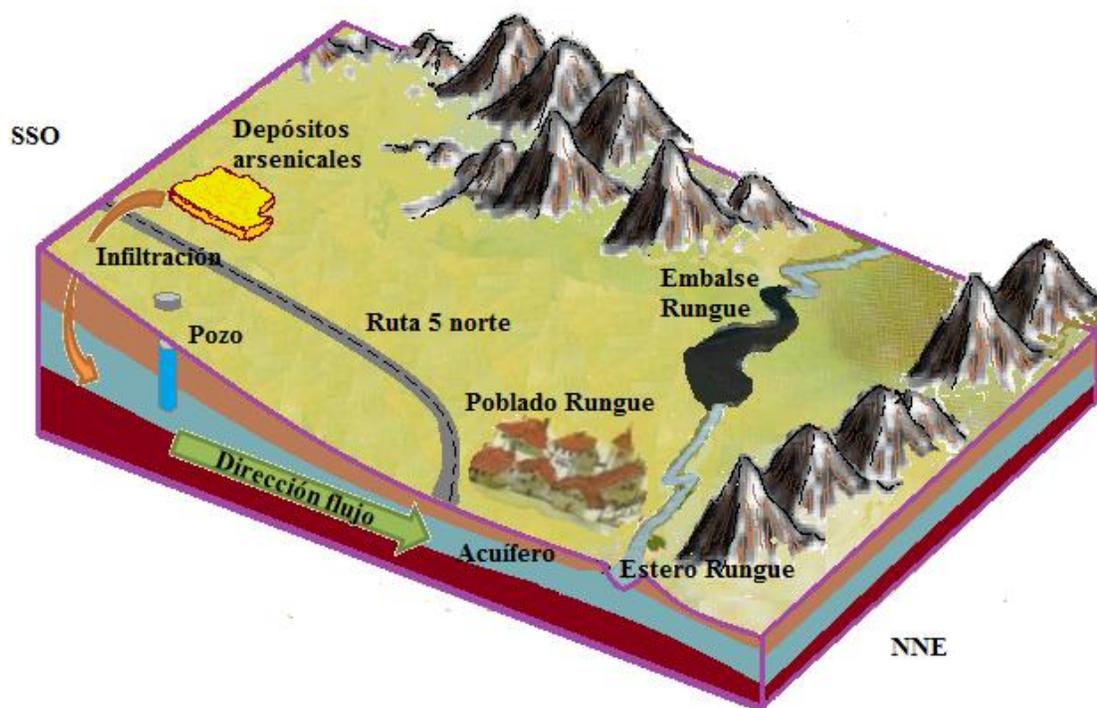


Figura 7. Esquema inicial del escenario en el área de estudio considerando la interacción de los depósitos arsenicales con el medio ambiente.

A modo de complemento, se elaboró un mapa conceptual incluyendo la fuente, ruta y receptor del contaminante (ver Figura 8).

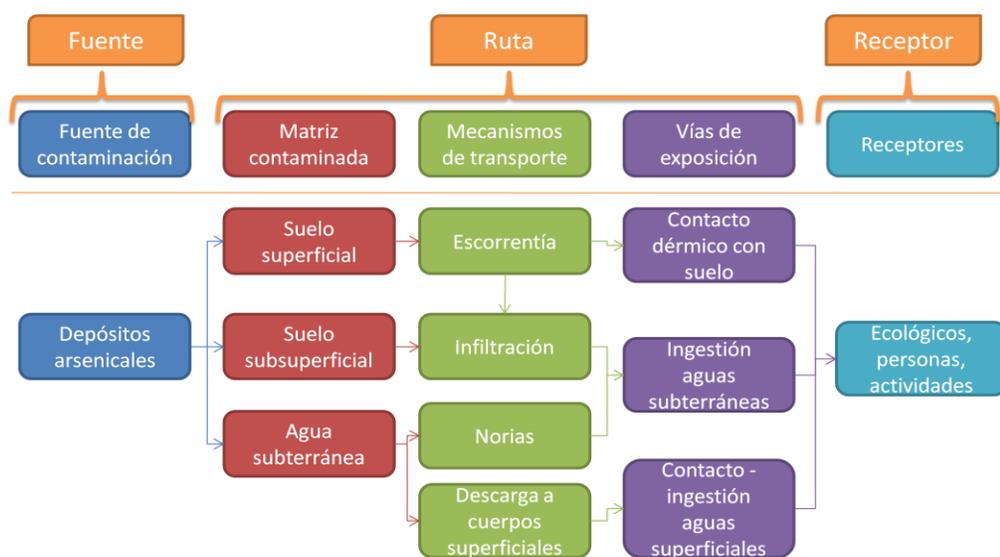


Figura 8. Mapa conceptual de la situación en el área de estudio considerando fuente de contaminación, vías de exposición y receptores.

En ambas Figuras, 7 y 8, se muestra la situación actual en la zona de los depósitos arsenicales en Rungue. Dichos depósitos pueden estar afectando el suelo mediante arrastre de material (recordar que de acuerdo a la BGR, hubo un depósito clandestino sin ningún tipo de recubrimiento), las aguas subterráneas mediante su infiltración y escorrentía y luego las aguas superficiales en caso de que el agente contaminante llegase hasta allí. Además a se puede afectar algún componente ambiental o ecológico (como animales o plantas), personas y actividades que se realicen alrededor (como la agricultura). Para esta situación queda confirmada la existencia de una fuente, rutas y receptores, haciéndose necesario continuar con la siguiente etapa.

## **Etapas 2. Investigación confirmatoria**

Dada la naturaleza de los depósitos, como contaminante de interés se definió el arsénico en cualquiera de sus valencias (arsenito o arsenato). El As presente en el área de estudio y por muchos años estuvo sin un material impermeable que cubriese los depósitos, por lo que los sectores aledaños a él pudieron verse afectados mediante el transporte de arsénico por la escorrentía derivada de las precipitaciones.

Al respecto, fueron consultados distintos estudios previos del sitio, y que fueron comparados entre sí con el objetivo de determinar si la contaminación por As del lugar se deriva de los depósitos arsenicales de Refimet. Los estudios consultados son los siguientes:

- **CICA Ingenieros Consultores (1990)**: elaboraron un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), donde se nombraron los procesos de la empresa, así como sus residuos y determinar los impactos generados por ella hacia su entorno. Con ello, se determinaron dos principales dispersores: viento y agua. En el primer caso, el viento habría sido responsable de transportar gases y/o partículas desde la chimenea del horno de tostación mientras la empresa se encontraba en funcionamiento; adicionalmente, se establece que el viento también podría transportar partículas desde los depósitos de desechos, con lo cual éstos se dispersarían en el entorno. Respecto del agua como elemento dispersor, se indica que ésta podría afectar el medio a través de percolaciones o escorrentías superficiales, además de ser un medio difusor de sustancias contaminantes por la red de drenaje de la cuenca.

A pesar de lo anterior, se estableció que tanto para el suelo como para las aguas superficiales, el rango de concentración de As se encuentra dentro de los límites comúnmente observados, entre 6 y 16 ppm para el suelo y 0,03 mg/L para el efluente del embalse Rungue. Para el primer caso, en Chile no existe una normativa para contaminación de suelos, sin embargo normativas de Canadá, Reino Unido, Países Bajos y Australia, establecen rangos de entre 10 y 20 ppm admisibles de As en el suelo (Duxbury y Zavala, 2004). Para el segundo caso, se tomó la NCh 1.333 de agua para riego, la cual establece un límite de 0,1 mg/L de arsénico.

Adicionalmente, dada la nula correlación entre los niveles de As presente en las áreas adyacentes, se puede concluir en este estudio que ni el viento ni el agua habían actuado hasta esa fecha, como agentes dispersores de los depósitos arsenicales.

No obstante lo anterior, se indica que el HDPE con el que están revestidos los tranques está sujeto a posibles cambios químicos o físicos, como accidentes mecánicos, que hacen incierta la protección en algunos puntos, por lo que las fracciones solubles podrían percolar. Del total de As presente, se estimó que un 27% se encontraba en estado soluble. Sin embargo, se establece que los tranques están asentados sobre depósitos de detritos compactados de muy baja conductividad hidráulica y transmisibilidad, lo cual resultaría muy favorable en caso de que ocurriese infiltraciones, ya que terminarían confinadas en él.

- **Estudio del SERNAGEOMIN (2005)**: es más específico que el anterior, realiza estudios geológicos para determinar la dirección del flujo de las aguas, geofísicos para determinar una posible pluma de contaminación, hidrogeoquímicos para identificar el tipo y valores de contaminación de aguas subterráneas, e hidrogeológicos, para conocer el comportamiento del acuífero, es decir, cómo se recarga, descarga y su flujo; en este ítem también se identifican perfiles hidrogeológicos.

Dentro de los resultados, destaca la presencia de As (III), el más tóxico, en la mayoría de los pozos perforados, así como en agua posada en charcos. El 52,2 % de las muestras (12 de 23) mostraron tener una concentración mayor de As a lo admitido por la NCh 409 de calidad de agua para consumo humano, donde se establece un máximo de 0,01 mg/L de este elemento. Por otra parte, también se comparó con la NCh 1.333 de calidad de agua para riego, mostrando que 8 muestras superaron el valor de 0,1 mg/L, límite para ese uso. En el Cuadro 6 se pueden ver las ubicaciones de cada muestra y su respectivo origen. Asimismo, en la Figura 9 se puede ver un mapa con las ubicaciones y los rangos de contaminación detectados para cada caso en el estudio de SERNAGEOMIN.

Cuadro 6. Identificación de las muestras realizadas SERNAGEOMIN Y BGR según tipo y ubicación en coordenadas UTM PSAD56.

Muestra	Este	Norte	Altura (msnm)	Origen
R1	323721	6343222	716	Subterránea-noria
R2	323227	6342200	740	Subterránea-noria
R3	324577	6341652	749	Subterránea-pique
R4	324786	6345840	721	Subterránea-noria
R5	323793	6345840	717	Subterránea-noria
R6	324479	6344086	710	Subterránea-noria
R7	322641	6345211	690	Subterránea-noria
R8	322865	6345164	695	Subterránea-noria
R9	322930	6345636	700	Subterránea-noria
R10	323658	6344392	706	Subterránea-noria
R11	324134	6342857	707	Superficial-charco
R12	324074	6343001	710	Superficial-charco
R13	324170	6342959	703	Superficial-charco
R14	324259	6342990	703	Superficial-tranque 5
R15	324137	6345096	710	Subterránea-noria
R16	324480	6344084	693	Subterránea-noria
R17	324480	6344084	693	Subterránea-noria
R18	324665	6344066	721	Subterránea-noria
R19	325952	6344010	736	Subterránea-noria
R20	327541	6342835	804	Subterránea-noria
R21	326436	6344128	756	Subterránea-noria
R22	324260	6343086	722	Superficial-charco
R23	324331	6343230	717	Superficial-charco
R24	349338	6297964	566	Lluvia

(Fuente: SERNAGEOMIN, 2005)

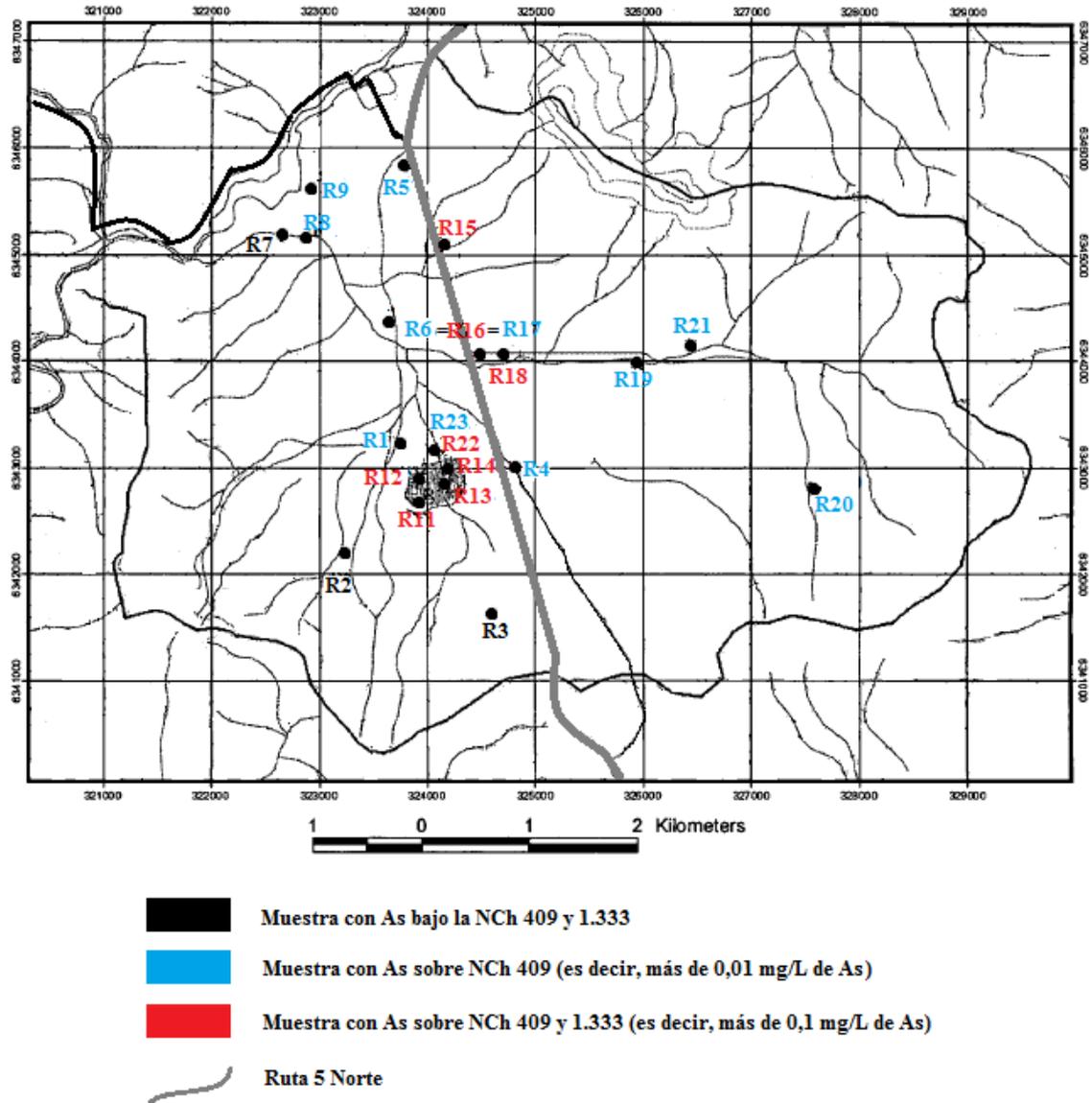


Figura 9. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de SERNAGEOMIN y BGR (2005) para contenido de As en aguas de los alrededores de los depósitos de Refimet (Fuente: SERNAGEOMIN, 2005)

Como se puede apreciar, en la mayoría de los casos los valores más elevados corresponden a charcos en áreas colindantes al tranque o sobre él directamente. En este último caso, las concentraciones de As llegaron incluso a 1.250 mg/L, sin embargo se considera una situación excepcional dado el origen de la muestra. Otras muestras con concentraciones altas fueron R11 y R13, con 7,7 y 8,3 mg/L respectivamente, sin embargo éstas también correspondían a charcos de agua sobre el tranque de depósitos arsenicales. Respecto de las aguas subterráneas, la mayoría de ellas superaba el límite para consumo humano y se aprecian repartidas por la cuenca.

En este estudio se da por sentada la existencia de aguas subterráneas, ya que por medio de la confección de pozos (de los que se extrajo agua para las muestras), se determinó que la conductividad hidráulica del subsuelo varía entre  $10^{-4} - 10^{-3}$  cm/s y una sección de flujo de 100 m con espesor saturado de 10 m, el agua subterránea que circula bajo los tranques tendría una magnitud de entre 1.700 a 17.000 L/día. Adicionalmente, asumiendo una porosidad del 10%, la velocidad del flujo se estableció en 1,7 a 17 cm/día. Con lo anterior, se tiene que en 20 años la pluma de contaminación se habría movido entre 120 a 1.200 m en dirección suroeste-noreste, y en 30 años habría cubierto la distancia desde el relave hasta el estero Rungue, donde aflora, afectando los esteros Tiltil, Polpaico, Lampa, Laguna Carén, río Mapocho y río Maipo.

- **Estudio consultora INGEDOS (2007)**: este documento discrepa respecto de algunos de los resultados de SERNAGEOMIN, principalmente porque se acusa una ausencia de aguas subterráneas en el área de estudio, medio principal por el cual se vería afectada la población al consumirla.

Se establece que el agua presente en los pozos perforados por SERNAGEOMIN se debe al método utilizado (por rotación directa), ya que el agua utilizada en el proceso se debió extraer del todo, sin embargo esto no fue posible. Dado lo anterior, el agua presente en los pozos no sería derivada de aguas subterráneas, sino que sólo parte del proceso de construcción de los pozos. Para corroborar esto, se construyó inicialmente una zanja entre un pozo existente y el tranque para ver si afloraba o no agua. Al excavar 10 m (profundidad mayor a la del pozo), se corroboró que la zanja se encontraba seca. Posteriormente se construyó una segunda zanja, esta vez entre el pozo en cuestión y la primera zanja. En esta ocasión se apreció una cantidad ínfima de agua a través de filtraciones laterales desde el pozo. A pesar de que provenía del pozo, se bombeó el agua filtrada arrojando un caudal de 0,025 L/s.

Posteriormente se realizaron 16 zanjas más con una profundidad de hasta 10 m en los alrededores de los tranques, sin embargo el resultado fue el mismo que el anterior, con la distinción de que no se registraron filtraciones laterales, resultando zanjas completamente secas. Además, las rocas visibles por las zanjas permitieron demostrar que no existían sedimentos permeables que pudieran ser reconocidos como acuíferos; de hecho correspondían a rocas impermeables con bajo grado de fracturamiento, lo que les otorga baja o nula conductividad hidráulica. Las rocas inmediatamente bajo el suelo arcilloso corresponden a la Formación Las Chilcas.

Con esto, en el estudio se planteó la hipótesis de inexistencia de un acuífero en los sectores adyacentes a los tranques, y que las aguas corresponden a lixiviado producto de los trabajos en los depósitos arsenicales, por la construcción por rotación directa de los pozos o bien recargados por las precipitaciones. Así mismo, al no haber acuíferos, no podría haber conexión entre ellos.

El estudio concluye con la aseveración de que los efectos de los tranques se encuentra sólo en sectores adyacentes, sin efectos apreciables en zonas más alejadas.

- **Estudio de Rubio y Rocco (2011)**: El objetivo de éste fue determinar el origen y difusión de arsénico en aguas subterráneas en el área de estudio. Para ello, se realizó un background geoquímico aguas arriba de los depósitos arsenicales, arrojando un valor de 0,052 mg/L. Con esto se intenta demostrar que la concentración de As en las aguas subterráneas se origina por la Formación Las Chilcas.

En este estudio también se realizaron muestreos de aguas subterráneas desde pozos; las ubicaciones y origen de las mismas se pueden ver en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Identificación de las muestras de agua realizadas por Rubio y Rocco (2011) en el área de estudio según fuente y ubicación en coordenadas UTM PSAD56.

Muestra	E	N	Altura (msnm)	Descripción
M1	325973	6344006	723	Ex Fundo Trivelli
M2	326461	6344118	735	Ex Fundo Trivelli
M3	324506	6344075	709	Casa Pedro García
M4	323595	6346537	705	Rungue casa
M5	323756	6346886	704	Rungue pozo agua potable
M6	323820	6345850	708	Casa Club Lo Curro
M7	323751	6343215	710	Pozo Fundo El Llano
M8	323252	6342197	734	Casa SE Tranques Refimet
M9	324348	6342992	712	Pozo Sernageomin S5
M10	324215	6343000	711	Pozo Sernageomin S4
M11	322246	6345647	700	Agua Embalse Rungue

(Fuente: Rubio y Rocco, 2011)

Así mismo, en la Figura 10 se puede ver un mapa con las ubicaciones y los rangos de contaminación detectados para cada caso en el estudio de Rubio y Rocco.

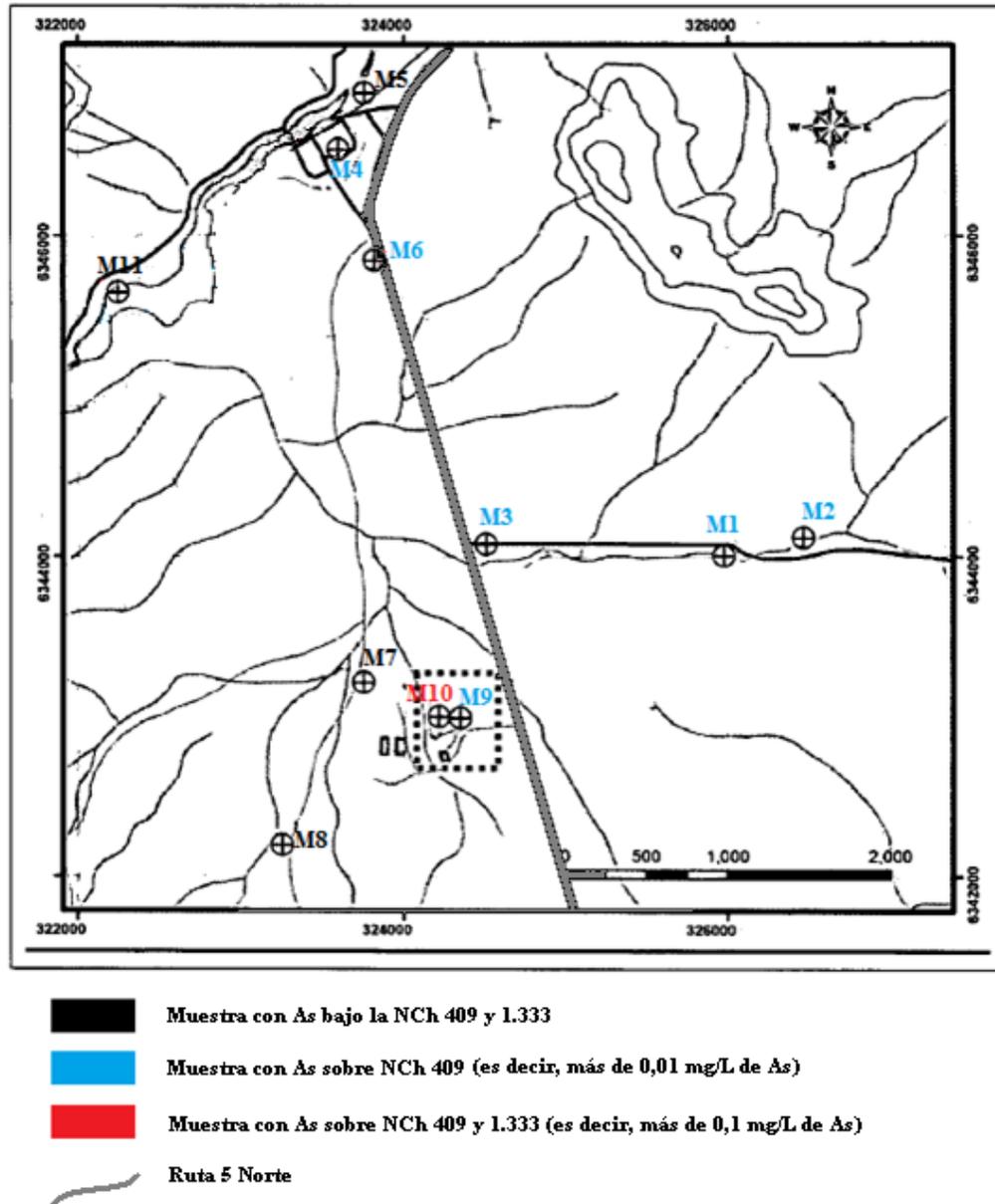


Figura 10. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de Rubio y Rocco (2011) para contenido de As en aguas en los alrededores de los depósitos arsenicales de Refimet. (Fuente: Rubio y Rocco, 2011)

En el estudio, las muestras M9 y M10, las más cercanas al tranque, arrojaron 0,222 y 0,012 mg/L de arsénico, lo que en cierta forma se condice con lo entregado por SERNAGEOMIN en 2005, ya que la muestra más similar en cuanto a origen y cercanía fue R1, en la cual se detectó 0,011 mg/L de arsénico.

Se reconoce la existencia de aguas subterráneas al igual que SERNAGEOMIN (2005), por tanto para estimar la difusión de la pluma se utilizó esta información, además de la altura a la que se encontraba cada muestra. Con esto se demostró que la concentración se desplaza desde zonas no relacionadas con los tranques de arsenicales. La concentración aumenta significativamente en el punto M10, lo que podría ser atribuible a los depósitos, sin embargo se hace hincapié en la presencia del HDPE, por lo que se infiere que dicha concentración se puede deber a la manipulación previa del arsénico, es decir, mientras era transportado y posteriormente depositado en su sitio de disposición final, éste pudo haber contaminado el suelo adyacente al escurrir con ayuda del agua hasta ese punto. Adicionalmente, se indica que dicho punto se ubica en una depresión, por lo que el agua escurriría más hacia ese sector, depositándose. Esto explicaría por qué la muestra M9 ubicada a aproximadamente 130 m de M10 presente una concentración notoriamente menor (0,012 mg/L).

Por otro lado, respecto de los contenidos de As, Rubio y Rocco (2011) indican que la mayoría del presente en el área de estudio corresponde a As (V) (a excepción de de las muestras M2 y M6), de menor toxicidad, lo cual es fundamental, ya que en caso de ser ingerido, es excretado por la orina, lo que lo hace cinco veces menos bioacumulable en el organismo. Sin perjuicio de lo anterior, y a pesar de que el As trivalente es más tóxico por su capacidad de afectar procesos biológicos derivados de proteínas y enzimas, una fracción de As pentavalente se transforma en As trivalente en el riñón, lo que aún lo hace peligroso (Foà *et al.*, 1987).

Adicionalmente, se realizó una extracción secuencial de las muestras M7, M8, M9 y M10 para detectar un indicio de la movilidad del As desde el sedimento hacia el agua. Este experimento es de suma importancia, pues denota la capacidad del As para adherirse a las partículas del suelo y no ser arrastrado con la fuerza del agua y las condiciones ambientales del lugar (como temperatura o pH). Las dos primeras muestras corresponden al background geoquímico y las dos últimas a muestras la zona alrededor de los depósitos arsenicales.

En la primera fase de extracción (de un total de tres) existe movilidad sólo en M7 y M8, no así en M9 y M10. Esto quiere decir que sólo dada la acción del agua no es suficiente para mover el As contenido en los tranques. En la segunda fase, ligada a hidróxidos de hierro, manganeso y aluminio, todas las muestras desprendieron mineral, por lo que parte del As presente en los sedimentos estaría ligado a estos óxidos. En la tercera fase, de fases minerales asociadas a sulfuros y materia orgánica, tenía por objetivo determinar si el As estaba asociado a estos elementos, ya que puede existir presencia del metaloide como impurezas de minerales sulfurados. Los resultados arrojaron que en todas las muestras analizadas se extraía As, sin embargo en M9 y M10, éste valor llegaba incluso hasta un 56% y 63% respectivamente, lo cual indica que al estar asociado a minerales sulfurados, el As no tendría una gran movilidad hacia las aguas subterráneas debido a que para que se

desprenda del sedimento debiese ocurrir un fuerte proceso de oxidación, no posible en la naturaleza.

Con lo anterior, se puede inferir que el As presente en los sedimentos al exterior de los tranques, pero dentro del predio, no podría ser liberado a las aguas subterráneas dadas las condiciones fisicoquímicas del lugar.

Las muestras M5 y M11, realizadas al pozo de agua potable de Rungue y el embalse del mismo nombre, no están afectadas por As, sin embargo la M4, correspondiente al suministro de agua de una casa de Rungue, presenta un valor por encima de la NCh409/1 para agua potable, sin embargo se desconoce si esta agua es de pozo o de otra fuente, dado que resulta desconcertante que M4 tenga un valor de 0,033 y M5 <0,005mg/L, si ambas están separadas por unos pocos metros y M5 se encuentra aguas arriba respecto de M4.

Se sabe que el embalse Rungue es recargado por el estero Rungue, y éste a su vez por las aguas subterráneas provenientes del SE. Además, el pozo más cercano al estero es el representado por la muestra M5, la que no está afectada por As, con lo que se puede decir que el estero, y por tanto el embalse, no se ven afectados actualmente por los depósitos de arsénico de Refimet según los antecedentes de Rubio y Rocco (2011) anteriormente descritos.

## **Discusión**

Como se puede ver, los estudios a los que se tuvo acceso son contradictorios: había discordancias en cuanto al origen, tipo y movilidad del As presente en el área de estudio. Por lo tanto, se hace difícil dilucidar si los tranques pueden o no afectar la salud de las personas al tener diferentes rutas de exposición. Otro antecedente que debió ser considerado la relación entre movilidad del As y su valencia.

Respecto de las fuentes, el problema de mayor importancia radica en el posible consumo de agua contaminada por parte de las personas que la adquieren desde pozos abastecidos por aguas subterráneas. En este punto existe desacuerdo en los antecedentes revisados, puesto que, ya que por un lado, se establece que podría haber una lixiviación desde los depósitos arsenicales que contamina la napa subterránea, y las aguas de otros pozos, afectando la salud de las personas que pueden consumirla. Incluso se indica que puede llegar a aflorar en el Estero Rungue, teniendo la facultad de contaminar entonces todos los cursos hídricos siguientes hasta llegar al río Maipo desde el Mapocho. Por otro lado, se establece que bajo el tranque de desechos arsenicales existe un talud impermeable que impide la infiltración de las aguas; más aún, el suelo mismo tendría características que impedirían este proceso de infiltración. Adicionalmente, si sólo existen acuífugos y acuíclusos, no podría propagarse el arsénico desde los tranques.

Si esta última aseveración fuese cierta, entonces los pozos realizados por SERNAGEOMIN y BGR estarían ubicados en sectores donde excepcionalmente hay aguas subterráneas, respecto de lo cual, INGEDOS (2007) establece que las aguas que pudieron captarse de dichos pozos eran sólo remanentes del método de excavación utilizado (mediante sonda de rotación), donde se utilizaría agua.

Resulta extraño tener dos versiones tan contrapuestas respecto del mismo problema. Sin embargo una comparación y análisis más profundo permite aclarar el problema. Rubio y Rocco (2011), realizaron un estudio donde establecieron que la contaminación por As en las aguas subterráneas no se debe en absoluto a los desechos arsenicales de Refimet, sino a la influencia de la formación geológica Las Chilcas, que por su naturaleza volcánica, es naturalmente rica en este elemento. Sin perjuicio de lo anterior, se constata el hecho de que en las zonas directamente aledañas a los tranques existe una elevada concentración de As.

Adicionalmente, no existe evidencia clara de la existencia patrones de contaminación asociados a una pluma de contaminantes. Cabe mencionar que la concentración de contaminantes no se condice con la cota a la que se tomaron las muestras: las mayores concentraciones se encontraron aguas arriba de la fuente (Figura 9). Junto con esto, en sectores muy cercanos existía una diferencia en las concentraciones, superando el límite permitido en un caso y en otro no, como las muestras M4 y M5 de Rubio y Rocco (2011), donde el pozo particular de una casa superaba la norma para consumo humano, en cambio en el pozo destinado al abastecimiento de agua potable apenas detectó arsénico.

Si bien de cierto modo se ha demostrado que es difícil que el As lixivie hacia las aguas subterráneas, en vista a la existencia de un talud impermeable y a la presencia de la geomembrana HDPE, no es posible concluir que el entorno no se haya visto afectado. La contaminación sufrida por el suelo durante el funcionamiento de la empresa fruto del transporte y acumulación en los tranques, pudo haber interactuado con el medio al moverse por viento o escorrentía. Así mismo, hay que recordar que los tranques no estuvieron confinados, sino que sólo cubiertos con tierra por más de 10 años luego de concluidos, estando sujetos por tanto a los efectos del clima.

Del mismo modo, cabe destacar que todos los estudios coinciden en que las rocas de la zona tienen concentraciones de arsénico atribuibles a la Formación Las Chilcas, lo que explica la presencia de este elemento aguas arriba de los tranques.

Desde este punto de vista, el diagrama de distribución de contaminantes elaborado en la investigación preliminar no sería del todo cierto, ya que los depósitos arsenicales no tendrían una comunicación directa con el acuífero en caso de haberlo, ya que existen rocas impermeables que impedirían su acceso, además de la membrana; sin embargo, como se dijo anteriormente, no se puede descartar la influencia a su entorno directo.

## CONCLUSIONES

La aplicación del método a los PAM, permitió obtener un listado jerarquizado de los sitios. Sin embargo no es posible afirmar si dicha lista es definitiva, pues no es descartable el hecho de que se puede haber dejado información de lado producto del desconocimiento de algunos factores específicos de cada sitio.

Adicionalmente, con el paso del tiempo se puede tener conocimiento de nuevos PAM, los que al someterse al método, pueden variar el resultado propuesto.

Cabe destacar que la aplicación del método está en función del sesgo profesional de quien lo aplique, puesto que adolece de criterios más específicos a la hora de establecer las fuentes, rutas y receptores propuestos. Adicionalmente, los resultados dependerán también del tamaño del universo de sitios a analizar y el conocimiento preliminar que se tenga de ellos.

La información disponible permitió obtener luces acerca de la naturaleza particular del sitio en cuanto a la contaminación presente en él como en su composición geológica, y cómo ello pudiese afectar las aguas subterráneas.

Por último, no es posible asegurar que la contaminación presente en norias y pozos tendría su origen en depósitos arsenicales de Refimet, puesto que no se pudo establecer patrones de distribución del As. Las diferencias entre los estudios consultados, no permiten confirmar o descartar la influencia de la Formación Las Chilcas en la concentración de As de las aguas estudiadas.

## BIBLIOGRAFÍA

Altieri, A., Falconi, M., Quercia, F. y Vecchio, A. 2004. Towards an EEA Europe-wide assessment of areas under risk for soil contamination. Review and analysis of existing methodologies for preliminary risk assessment. Volume II, Final Version. 203p.

ATSDR. 2005. Public Health Assessment Guidance Manual. US Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia. 357p.

ATSDR. 2007. Toxicological profile for arsenic. U.S Department of health and human services. Atlanta, Georgia. 559p.

Benítez, M. 2012. Normativa ambiental para una minería sustentable. [En línea] Ministerio del Medio Ambiente. 32p. Recuperado en <[http://www.expomin.cl/marketing/pdf/2012/presentacion\\_m\\_ignacia\\_benitez.pdf](http://www.expomin.cl/marketing/pdf/2012/presentacion_m_ignacia_benitez.pdf)> Consultado el 3 de junio de 2013.

Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). 2002. Reporte regional. Región Metropolitana. Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT). 40p.

Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). 2007. Región Metropolitana de Santiago. Disponible en <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region13/mapa.jpg/download> Consultado el 6 de mayo de 2013.

Bravo, J. 2008. Diseño y aplicación de un método para la evaluación preliminar de riesgos para pasivos ambientales mineros de la Región Metropolitana. Memoria de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 87h.

Brignardello, L. 1997, noviembre. Geopedología de la cuenca de Santiago:, Dimensión espacial de los problemas ambientales en los suelos. *Revista de Geografía Norte Grande*, (24). 127-141.

Briones, E. 2003. Aplicación de un método para la evaluación preliminar del riesgo ambiental asociado a sitios con potencial presencia de contaminantes. Memoria de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 146h.

Brooks, W. 2010. Mineral Yearbook, Arsenic. [En línea] U.S Geological Survey Minerals Yearbook. 6p. Recuperado en <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/arsenic/myb1-2010-arsen.pdf>. Consultado el 3 de junio de 2013.

Camus P., y Hajek, E. 1998. Historia ambiental de Chile. Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile. 183p.

CEPAL. 1991. El Desarrollo Sustentable: Transformación productiva, equidad y medio ambiente. Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y El Caribe.

CETESB-GTZ. 1999. Manual de gerenciamiento de áreas contaminadas. Proyecto de Cooperación Técnica Brasil-Alemania. Gobierno do Estado de São Paulo, Brasil. 356p.

CICA Ingenieros Consultores. 1990. Estudio de Impacto Ambiental Planta Rungue Refimet. 60p.

CIREN. 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Publicación CIREN N° 115. 431p.

CNN Chile. 2010. Reportaje “Minas de oro, desechos de muerte”. Disponible en <http://www.youtube.com/watch?v=vkDt6kTomDw> Consultado el 30 de abril de 2013.

De Ramón, A. 1988, abr.-ago. Historia del sector industrial de Chile. *Ambiente y Desarrollo*, 4(1 y 2): 29-44.

Díaz, F. 1999. Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 93p.

Duxbury, J. y Zavala, Y. 2004. What are Safe Levels of Arsenic in Food and Soils? [En línea] Cornell University, New York, USA. Recuperado en <http://arsenic.tamu.edu/pub/pubpres/DHAKA/dhaka3.pdf> Consultado el 17 de junio de 2013.

Ferrando, F. 2008. Santiago de Chile: antecedentes demográficos, expansión urbana y conflictos. *Revista de Urbanismo*, Universidad de Chile, 18:1-19.

Figueroa, M. 2011. Evaluación preliminar de riesgos medioambientales de faenas mineras abandonadas/paralizadas mediante SIG en la II región de Antofagasta, Chile. Memoria Geógrafa. Santiago, Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. 140h.

Foà, V., Colombi, A., Maroni, M y Buratti, M. 1987. Indicadores biológicos para la valoración de la exposición humana a compuestos químicos industriales: Arsénico. Oficina

de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Bruselas, Luxemburgo. Editorial Edicions Vicent Llorens. 70p.

Fundación Chile. 2012. Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile. 147p.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica. Segunda edición. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 165p.

GreenLabUC. 2012. Desarrollo de un Modelo de Representación del Riesgo Ambiental de Proyectos o Actividades con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) a Nivel Nacional. Estudio solicitado por la Superintendencia del Medio Ambiente. Informe Final. 162p.

Gobierno Regional de la Región Metropolitana de Santiago (GORE RMS). 2012. Cuenta Pública Regional 2011 Región Metropolitana de Santiago. Intendencia Región Metropolitana. 30p.

Golder Associates. 2008. Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas (FMA/P). Servicio Nacional de Geología y Minería. 501p.

INGEDOS. 2007. Resumen de trabajos realizados por INGEDOS en los Llanos de Rungue. 11p.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2010. Compendio Estadístico. Estadísticas Demográficas. 140p.

Ley 20.551. Regula el cierre de Faenas e Instalaciones Mineras. Santiago: Ministerio de Minería, 2011. 20p. [Publicada en Diario Oficial el: 11 de noviembre de 2011].

Martínez, J. 2007, septiembre. El ecologismo popular. [En línea]. *Revista Ecosistemas*, 15(3):148-151. Recuperado en: <  
<http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/121/118>>  
Consultado el 1 de junio de 2013.

Mejía, J., Carrizales, L., Rodríguez, V., Jiménez-Capdeville, M. y Díaz-Barriga, F. 1999, marzo. Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud Pública Mex*, 2(41): 132-140.

Ministerio de Medio Ambiente. 2011. Resolución Exenta N°1690 que aprueba metodología para la identificación y evaluación preliminar de suelos abandonados por presencia de contaminantes. 16p.

Netherlands National Committee of International Association of Hydrogeologists (NNCIAH). 2006. Arsenic in Groundwater: A World Problem. Disponible en <<http://www.un-igrac.org/publications/301>>. Consultado el 31 de mayo de 2013.

Oblasser, A. y Chaparro, E. 2008. Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos. CEPAL, Naciones Unidas. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. 84p.

Observatorio de la Deuda en la Globalización (ODG). 2002. El pasivo ambiental. Colectivo para la difusión de la Deuda Ecológica. 5p.

PNUD. 2013. Estrategia Regional de Desarrollo 2012 – 2021. Región Metropolitana de Santiago. Gobierno Regional Metropolitano de Santiago. 83p.

ReLASC. s.a. Red Latinoamericana de Prevención y Gestión de Sitios Contaminados. ¿Qué es un sitio contaminado? Disponible en: <<http://www.relasc.org/index.php?/relasc/FAQs/FAQ-s-Espanhol/1.-Caracteristicas-generales/1.1-Que-es-un-sitio-contaminado>>. Leído el 13 de marzo de 2013.

Rubio, M. y Rocco, M. 2011. Origen y difusión de arsénico en aguas subterráneas de la subcuenca de Rungue. Facultad de Química y Biología, Universidad de Santiago de Chile. 65p.

Russi, D. y Martínez, J. 2003. Los Pasivos Ambientales. (cap. 5, pp.107-113) En: *Fundación Hogar del Empleado*. Ecología Política. Barcelona, España. Icaria Editorial. 178p.

Salvarrey, A. y Gristo, P. 2005. Guía para la Identificación y Evaluación Preliminar de Sitios Potencialmente Contaminados. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Montevideo, Uruguay. 30p.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SADS). 2006. Programa Nacional para la Gestión Ambiental de Sitios Contaminados. Subsecretaría de Planificación, Ordenamiento y Calidad Ambiental. Buenos Aires, Argentina. 16p.

SERNAGEOMIN. 2005. Informe Fundo El Llano de Refimet. Proyecto Bases para la Remediación de Pasivos Mineros. SERNAGEOMIN y BGR. 78p.

SERNAGEOMIN. 2007. Catastro de faenas mineras paralizadas o abandonadas y análisis preliminar de riesgo. Proyecto FOCIGAM JICA-SERNAGEOMIN. 277p. Serie de Guías y Manuales.

SERNAGEOMIN. 2010. Catastro de faenas mineras paralizadas o abandonadas y análisis preliminar de riesgo. [En línea] Proyecto FOCIGAM JICA-SERNAGEOMIN. Recuperado

en <<http://www.sernageomin.cl/ambiental-catastro.php>> Consultado el 26 de septiembre de 2012.

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). s.a. Biodiversidad de la Región Metropolitana. 21p.

Straskraba, V., y Moran R. 1990, marzo. Environmental occurrence and impacts of arsenic at gold mining sites in the western United States. *International Journey of Mine Water*, 9(4): 181-191.

Tunik, M. 2008. Análisis y edad de la sección calcárea de la Formación Las Chilcas (Chile) y sus implicancias para la correlación con unidades de Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63(3). 363-379.

U.S EPA. 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I, Human Health Evaluation Manual (Part A). Office of Emergency and Remedial Response U.S Environmental Protection Agency, Washington D.C, Estados Unidos. 291p.

U.S EPA. 1996. Valuing Potential Environmental Liabilities for Managerial Decision-making: A review of available techniques. Washington, Estados Unidos: Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics. 122p.

U.S EPA. 2011. Risk Assessment. [En línea] Basic Information. Recuperado en <<http://epa.gov/riskassessment/basicinformation.htm#arisk>>. Consultado el 30 de mayo de 2013.

U.S. Geological Survey. 2013. Mineral Commodity Summaries 2013. 198p.

Vallero, D. 2007. Fundamentals of Air Pollution. 4° Edición: Durham, North Carolina: Academic Press. 968p. (Fundamentals of Air Pollution Series).

Vivallo, W. 2011. Ord. N°00264. [En línea] Oficio solicitado por la Comisión Especial Investigadora sobre la situación en la que se encuentran los depósitos de relaves mineros existentes en el país. Dirección Nacional de Geología y Minería. Recuperado en <<http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/Documento-2.pdf>> Consultado el 4 de mayo de 2012.

Wang, S. y Mulligan, C. 2006, octubre. Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution. *Science of the Total Environment*, 366(2): 701-701.

Yupari, A. 2003. Informe “Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica”. CEPAL, Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR) y Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). 23p.

Ziobrowski, C., Cabanillas, E., Palacios, T. y González, L. 1996. Estudio de aleaciones cobre-arsénico. (Bol. N°41), *Museo del Oro*. [En línea]. Bogotá, Colombia: Biblioteca Luis Ángel Arango del Banco de la República. Recuperado en <<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/publicacionesbanrep/bolmuseo/1996/jldi41/jldi07a.htm>> Consultado el 30 de mayo de 2013.

## ANEXOS

## Anexo 1. Ficha de inspección para SPPC

Cuadro 8. Ficha de inspección: información general del sitio.

A. IDENTIFICACIÓN DEL SPPC			
1.1	Nombre del SPPC		
1.2	Otro(s) nombre(s) asignado(s) al SPPC		
1.3	Nombre(s) de la(s) Empresa(s) (pasada o actual)		
1.4	Dirección o Referencia		
1.5	Comuna		
1.6	Región		
1.7	Código CIUU (en caso de SPPC activo)		
1.8	Coordenadas	Este:	Norte:
		DATUM WGS 84 HUSO19	

(Continúa)

Cuadro 8. (Continuación)

<b>B. INFORMACIÓN DE LA INSPECCIÓN</b>				
1.9	Fecha de Inspección (día/mes/año):			
1.10	Datos	Evaluador 1	Evaluador 2	Evaluador 3
	Nombre			
	Institución			
	Cargo (Relación con la inspección)			
	Correo electrónico			
	Fono			
<b>C. INFORMACIÓN DE LOS ENTREVISTADOS</b>				
1.11	Datos	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
	Nombre			
	Relación con el SPPC (habitante, trabajador, dueño, representante de municipalidad u otra institución, otro)			
	Institución/Cargo/ Función (en caso que aplique)			
	Correo electrónico			
	Fono			
Observaciones:				

(Continúa)

Cuadro 8. (Continuación)

D. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SPPC	
1.12	Tipo de Propiedad <input type="checkbox"/> Fiscal <input type="checkbox"/> Privada ¿Área Protegida? _____
1.13	Nombre(s) del (los) Propietario(s) (persona natural, sociedad u otro)
1.14	Área Aproximada (Ha cerco u otra delimitación)
1.15	Estatus del SPPC <input type="checkbox"/> Inactivo <input type="checkbox"/> Activo Desde el año _____
1.16	Tamaño de la Empresa (actual o pasada)
	Por ventas anuales en UF: Nº de Trabajadores:
1.17	Descripción General de la(s) Actividad(es) Productiva(s) que se han Desarrollado, Identificando las Etapas Principales del(los) Proceso(s):
1.18	Identificación de Instalaciones Existentes, destacando aquellas de especial importancia <sup>19</sup> :
1.19	¿Existencia de Denuncias, Inspecciones, Accidentes y/o Derrames? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> NO Describir:

Cuadro 9. Ficha de inspección: información del (los) proceso(s) industrial(es) potencialmente contaminante(s) presente(s) en el sitio.

A. PROCESO PRODUCTIVO POTENCIALMENTE CONTAMINANTE				
2.1	Tipo de Actividad(s) que se ha(n) desarrollado en el SPPC:			
2.2	<table border="1"> <tr> <td style="vertical-align: top;">           Identificación de(los) Proceso(s) Industrial(es) Potencialmente Contaminante(s)         </td> <td style="vertical-align: top;"> <input type="checkbox"/> Almacenamiento de derivados de hidrocarburos (aceites usados, aceites minerales,).  <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Mineral  <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales no Peligrosos y Residuos Sólidos Domiciliarios  <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales Peligrosos  <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Combustible  <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Anterior a 1996  <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Posterior a 1996  <input type="checkbox"/> Amalgamación  <input type="checkbox"/> Chancado  <input type="checkbox"/> Cianuración  <input type="checkbox"/> Depósitos de Escoria  <input type="checkbox"/> Depósitos de Relaves  <input type="checkbox"/> Depósitos de Cenizas  <input type="checkbox"/> Desmonte/estéril  <input type="checkbox"/> Depósitos de Ripio de lixiviación  <input type="checkbox"/> Extracción de Hidrocarburos  <input type="checkbox"/> Fertilizantes y/o aplicación de Plaguicidas y/o almacenamiento         </td> <td style="vertical-align: top;"> <input type="checkbox"/> Fundición  <input type="checkbox"/> Fusión/conversión  <input type="checkbox"/> Flotación y concentración de metales  <input type="checkbox"/> Generación eléctrica (carbón, diésel, petcoke, gas u otros)  <input type="checkbox"/> Generación y quema de metano  <input type="checkbox"/> Incineración  <input type="checkbox"/> Lixiviación  <input type="checkbox"/> Lavadero  <input type="checkbox"/> Molienda  <input type="checkbox"/> Piscina evaporación  <input type="checkbox"/> Precipitación  <input type="checkbox"/> Refinación  <input type="checkbox"/> Refinería y almacenamiento de combustibles.  <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte Relaves y/o Concentrados  <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte de hidrocarburos y derivados  <input type="checkbox"/> S.X.E.W (Extracción por disolvente/extracción electrolítica)  <input type="checkbox"/> Teñido de textiles  <input type="checkbox"/> Tintas y material de imprenta (<i>tonner</i>) de impresoras  <input type="checkbox"/> Tostación  <input type="checkbox"/> Vertederos de residuos  <input type="checkbox"/> Otro _____            _____            _____         </td> </tr> </table>	Identificación de(los) Proceso(s) Industrial(es) Potencialmente Contaminante(s)	<input type="checkbox"/> Almacenamiento de derivados de hidrocarburos (aceites usados, aceites minerales,). <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Mineral <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales no Peligrosos y Residuos Sólidos Domiciliarios <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales Peligrosos <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Combustible <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Anterior a 1996 <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Posterior a 1996 <input type="checkbox"/> Amalgamación <input type="checkbox"/> Chancado <input type="checkbox"/> Cianuración <input type="checkbox"/> Depósitos de Escoria <input type="checkbox"/> Depósitos de Relaves <input type="checkbox"/> Depósitos de Cenizas <input type="checkbox"/> Desmonte/estéril <input type="checkbox"/> Depósitos de Ripio de lixiviación <input type="checkbox"/> Extracción de Hidrocarburos <input type="checkbox"/> Fertilizantes y/o aplicación de Plaguicidas y/o almacenamiento	<input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Fusión/conversión <input type="checkbox"/> Flotación y concentración de metales <input type="checkbox"/> Generación eléctrica (carbón, diésel, petcoke, gas u otros) <input type="checkbox"/> Generación y quema de metano <input type="checkbox"/> Incineración <input type="checkbox"/> Lixiviación <input type="checkbox"/> Lavadero <input type="checkbox"/> Molienda <input type="checkbox"/> Piscina evaporación <input type="checkbox"/> Precipitación <input type="checkbox"/> Refinación <input type="checkbox"/> Refinería y almacenamiento de combustibles. <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte Relaves y/o Concentrados <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte de hidrocarburos y derivados <input type="checkbox"/> S.X.E.W (Extracción por disolvente/extracción electrolítica) <input type="checkbox"/> Teñido de textiles <input type="checkbox"/> Tintas y material de imprenta ( <i>tonner</i> ) de impresoras <input type="checkbox"/> Tostación <input type="checkbox"/> Vertederos de residuos <input type="checkbox"/> Otro _____ _____ _____
Identificación de(los) Proceso(s) Industrial(es) Potencialmente Contaminante(s)	<input type="checkbox"/> Almacenamiento de derivados de hidrocarburos (aceites usados, aceites minerales,). <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Mineral <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales no Peligrosos y Residuos Sólidos Domiciliarios <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Residuos Industriales Peligrosos <input type="checkbox"/> Almacenamiento de Combustible <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Anterior a 1996 <input type="checkbox"/> Almacenamiento y/o distribución de Combustible Posterior a 1996 <input type="checkbox"/> Amalgamación <input type="checkbox"/> Chancado <input type="checkbox"/> Cianuración <input type="checkbox"/> Depósitos de Escoria <input type="checkbox"/> Depósitos de Relaves <input type="checkbox"/> Depósitos de Cenizas <input type="checkbox"/> Desmonte/estéril <input type="checkbox"/> Depósitos de Ripio de lixiviación <input type="checkbox"/> Extracción de Hidrocarburos <input type="checkbox"/> Fertilizantes y/o aplicación de Plaguicidas y/o almacenamiento	<input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Fusión/conversión <input type="checkbox"/> Flotación y concentración de metales <input type="checkbox"/> Generación eléctrica (carbón, diésel, petcoke, gas u otros) <input type="checkbox"/> Generación y quema de metano <input type="checkbox"/> Incineración <input type="checkbox"/> Lixiviación <input type="checkbox"/> Lavadero <input type="checkbox"/> Molienda <input type="checkbox"/> Piscina evaporación <input type="checkbox"/> Precipitación <input type="checkbox"/> Refinación <input type="checkbox"/> Refinería y almacenamiento de combustibles. <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte Relaves y/o Concentrados <input type="checkbox"/> Sistema de Transporte de hidrocarburos y derivados <input type="checkbox"/> S.X.E.W (Extracción por disolvente/extracción electrolítica) <input type="checkbox"/> Teñido de textiles <input type="checkbox"/> Tintas y material de imprenta ( <i>tonner</i> ) de impresoras <input type="checkbox"/> Tostación <input type="checkbox"/> Vertederos de residuos <input type="checkbox"/> Otro _____ _____ _____		
2.3	Identificar y describir el o los procesos productivos que poseen una mayor probabilidad de ser considerados una Fuente Sospechosa de Contaminación:			

Cuadro 10 . Ficha de inspección: información específica de las potenciales fuentes de contaminación en el sitio.

A. RESPECTO DE LA(S) POTENCIAL(ES) FUENTE(S) DE CONTAMINACIÓN			
3.1	Nombre de la(s) Potencial (es) Fuente(s) de Contaminación	1. 2. 3. 4.	
3.2	Coordenadas del Punto Central de la(s) Potencial(es) Fuente(s) de Contaminación	1. 2. 3. 4.	Coordenada Este:  Coordenada Norte :
DATUM WGS 84 - HUSO 19			

(Continúa)

Cuadro 10. (Continuación)

B. RESPECTO DE LOS MATERIALES UTILIZADOS O GENERADOS EN LA(S) FUENTE(S) DE CONTAMINACIÓN			
3.3	¿Cuáles son las Materias Primas e Insumos ?		
3.4	¿Cuáles son los Productos y Subproductos ?		
3.5	¿Cuáles son los Residuos ?		
3.6	<p>¿Alguna de estas sustancias se considera una sustancia peligrosa (NCh 382) o plaguicida de uso agrícola (D.L. 20.275SAG)?</p> <p><input type="checkbox"/> No</p> <p><input type="checkbox"/> Sí, ¿Cuáles? _____</p>		
3.7	<p>¿Ya sea en el almacenamiento, transporte y/o disposición de esta sustancia está implementado el DS 78 de Minsal (almacenamiento), y/o el DS 148 de Minsal (disposición) ? (solo para SPPC activos)</p> <p><input type="checkbox"/> Sí (verificar cumplimiento)    <input type="checkbox"/> No</p>		
3.8	<table border="1"> <tr> <td>Verificación DS148 (solo para SPPC activos)</td> <td>Registrar el número de resolución sanitaria y vigencia, empresa que realiza el transporte y disposición de residuos si corresponde, así como el destino final de los mismos:</td> </tr> </table>	Verificación DS148 (solo para SPPC activos)	Registrar el número de resolución sanitaria y vigencia, empresa que realiza el transporte y disposición de residuos si corresponde, así como el destino final de los mismos:
Verificación DS148 (solo para SPPC activos)	Registrar el número de resolución sanitaria y vigencia, empresa que realiza el transporte y disposición de residuos si corresponde, así como el destino final de los mismos:		
3.9	<table border="1"> <tr> <td>Verificación DS 78 (solo para SPPC activos)</td> <td>Indicar medidas de almacenamiento aplicadas o en proceso de implementación:</td> </tr> </table>	Verificación DS 78 (solo para SPPC activos)	Indicar medidas de almacenamiento aplicadas o en proceso de implementación:
Verificación DS 78 (solo para SPPC activos)	Indicar medidas de almacenamiento aplicadas o en proceso de implementación:		
3.10	<p>¿Cumple con los instrumentos de gestión y normativos que le correspondan (RCA, permisos sectoriales, otro)?    <input type="checkbox"/> Sí    <input type="checkbox"/> NO</p> <p>Incorporar los antecedentes:</p>		

(Continúa)

Cuadro 10. (Continuación)

C. SOSPECHA DE FUENTE(S) CONTAMINANTE(S)		
3.11	Sospecha de Fuente(s) Contaminante(s)	<input type="checkbox"/> Con sospecha <input type="checkbox"/> Sin sospecha  Justificación (en ambos casos):
3.12	En caso de Sospecha, se asocia a	<input type="checkbox"/> Metales y metaloides <input type="checkbox"/> Sales inorgánicas <input type="checkbox"/> Agroquímicos(no COP's) <input type="checkbox"/> HC y aceites minerales <input type="checkbox"/> Contaminantes orgánicos persistentes (COPs)

Cuadro 11. Ficha de inspección: información específica de la(s) ruta(s) de exposición posibles de encontrar en el sitio.

A. RUTA DE EXPOSICIÓN: SUELO	
4.1	¿Hubo uso(s) anterior(es) del terreno?: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> NO  En caso afirmativo, señalar cual(cuales):
4.2	Suelo potencialmente impactado: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> NO Área (Ha): _____
4.3	Suelo con recubrimiento Impermeable (losa, pavimento, estabilizante, otros) %:
4.4	Suelo Erosionado (grietas, suelo desnudo, otros) %:

(Continúa)

Cuadro 11. (Continuación)

<b>B. RUTA DE EXPOSICIÓN: AGUA SUBTERRÁNEA</b>	
4.5	¿Existe agua subterránea? <input type="checkbox"/> Sí, Profundidad (m): _____ <input type="checkbox"/> NO
4.6	¿Cómo fue establecida la Profundidad? <input type="checkbox"/> Medición de pozo cercano <input type="checkbox"/> Mapas <input type="checkbox"/> Consulta local
4.7	¿Existe algún pozo de extracción de agua subterránea en el sitio y/o alrededores? (hasta un máximo de 3 Km) <input type="checkbox"/> Sí, Distancia (m): _____ <input type="checkbox"/> NO  Uso(s) que se le da(n) al agua subterránea: <input type="checkbox"/> Agua Potable <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Riego <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/> Recreacional <input type="checkbox"/> Otro _____
<b>C. RUTA DE EXPOSICIÓN: AGUA SUPERFICIAL</b>	
4.8	¿Existe agua superficial? (hasta un máximo de 3 km) <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> NO
4.9	Distancia al curso de agua superficial más cercano (m): _____
4.10	Especificar tipo de cuerpo de agua: _____ (río, lago, laguna, embalse, canal)
4.11	Uso del agua superficial: <input type="checkbox"/> Agua Potable <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Riego <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/> Recreacional <input type="checkbox"/> Otro _____
<b>D. RUTA DE EXPOSICIÓN: AIRE</b>	
4.12	Existen sospechas de emisiones al aire provenientes de la(s) fuente(s) contaminante(s): <input type="checkbox"/> Sí, Material Particulado Indicar tipo: _____ <input type="checkbox"/> Sí, Gases Indicar tipo: _____ <input type="checkbox"/> No
<b>E. OTRAS POTENCIALES RUTAS DE EXPOSICIÓN:</b>	
4.13	En un radio máximo de 3 km: <input type="checkbox"/> Actividad Agrícola (frutas y Hortalizas ) <input type="checkbox"/> Actividad pesquera <input type="checkbox"/> Actividad Pecuaria (Crianza Animales y Producción Láctea) <input type="checkbox"/> Otras Actividades

(Continúa)

Cuadro 11. (Continuación)

F. RESUMEN DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN IDENTIFICADAS	
4.14	Medios Potencialmente Impactados (puede ser más de uno) <sup>25</sup> : <input type="checkbox"/> Agua de consumo humano (superficial y/o subterránea) <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Agua otros usos (recreacional, riego, industrial) <input type="checkbox"/> Peces <input type="checkbox"/> Sedimentos <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes

Cuadro 12. Ficha de inspección: información específica de los potenciales receptores expuestos

A. RECEPTORES: ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LAS CERCANÍAS (A un radio máximo de 3 km alrededor de la(s) Fuente(s) Potencial(es) de Contaminación)	
5.1	¿El SPPC es Accesible al Público? <input type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO
5.2	¿Población Humana Potencialmente Expuesta? <input type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO (hasta un máximo de 3 km) <b>Residentes.</b> Nombre del poblado: Distancia al sitio (m): Número aproximado de habitantes:
	<b>Trabajadores.</b> Actividad que desarrollan: Distancia al sitio (m): Número aproximado de trabajadores: Jornada Laboral o Turno: Horas/Mes: _____ Turno: _____ Equipo de Protección Personal: <input type="checkbox"/> Casco <input type="checkbox"/> Guantes <input type="checkbox"/> Mascarilla (tipo.....) <input type="checkbox"/> Buzo térmico / overol <input type="checkbox"/> Zapatos de Seguridad
5.3	Descripción de información sobre sintomatologías (si existiese) o enfermedades laborales asociadas a la potencial fuente de contaminación:
5.4	¿Presencia de al menos una especie vegetal o animal en alguna categoría de conservación, de áreas protegidas por parte del Estado y/o de ecosistemas de alta relevancia por la función ambiental o servicio ecosistémico que prestan? En caso afirmativo, señalar.

(Continúa)



Cuadro 13. (Continuación)

B. MODELO CONCEPTUAL PRELIMINAR (obligatorio de completar)				
Fuente de Contaminación	Componente(s) Ambiental(es) con Potencial Presencia de Contaminantes		Vía de Exposición	Receptores
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos
	<input type="checkbox"/> Agua Sup. <input type="checkbox"/> Agua Sub. <input type="checkbox"/> Sedimento <input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Suelo <input type="checkbox"/> Aire <input type="checkbox"/> Frutas y Hortalizas <input type="checkbox"/> Lácteos y Carnes	<input type="checkbox"/> Ingestión <input type="checkbox"/> Inhalación <input type="checkbox"/> Contacto Dérmico	<input type="checkbox"/> Residente <input type="checkbox"/> Trabajador <input type="checkbox"/> Ecológicos

Cuadro 14. Ficha de inspección: fuente(s) de la información obtenida respecto del sitio.

A. FUENTES DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA	
<input type="checkbox"/> Cartografía	<input type="checkbox"/> Estudios Previos
<input type="checkbox"/> Análisis en Laboratorio	<input type="checkbox"/> Inspección de Campo
<input type="checkbox"/> Otra _____	
Observaciones:	

Cuadro 15. Ficha de inspección: puntaje de la ficha.

A. CÁLCULO DEL PUNTAJE (obligatorio de completar)				
Fuente(F) $0 \text{ o } 0,5 + \sum F_i$	Ruta(Ru) $\sum Ru_i$	Receptor (Re) (Dis. + Hab.)	Cálculo Puntaje $(F + Ru + Re) * 100/3$	Puntaje Total (%)
			$(\text{---} + \text{---} + \text{---}) * 100/3$	

## Anexo 2. Jerarquización detallada de los PAM evaluados

Cuadro 16. Puntaje asignado para cada PAM según la fuente, ruta y receptor

Rk	Código	Contaminación		Contaminante Asociado							Ruta de Exposición					Receptores		Puntaje (%)	Descripción	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			17
1	PAM15	0,5		0,1					0,2	0,15	0,15	0,05	0,2				0,6	0,2	72%	Alta jerarquía
2	PAM1	0,5		0,1				0,2	0,15	0,15			0,1				0,6	0,2	67%	Alta jerarquía
3	PAM2	0,5		0,1				0,2	0,15	0,15			0,1				0,6	0,2	67%	Alta jerarquía
4	PAM11	0,5		0,1				0,2	0,15	0,15	0,05		0,1				0,6	0,1	65%	Alta jerarquía
5	PAM20	0,5		0,1					0,15	0,15	0,05	0,2	0,1				0,6	0,1	65%	Alta jerarquía
6	PAM16	0,5		0,1				0,2		0,15		0,2					0,6	0,1	62%	Alta jerarquía
7	PAM8	0,5		0,1					0,15	0,15	0,05		0,1				0,6	0,2	62%	Alta jerarquía
8	PAM9	0,5		0,1				0,2		0,15	0,05		0,1				0,6	0,1	60%	Alta jerarquía
9	PAM13	0,5		0,1				0,2		0,15	0,05		0,1				0,6	0,1	60%	Alta jerarquía
10	PAM14	0,5		0,1						0,15	0,05		0,1				0,6	0,2	57%	Mediana jerarquía
11	PAM3									0,15	0,05	0,2					0,6	0,1	37%	Mediana jerarquía
12	PAM5									0,15			0,1				0,6	0,2	35%	Mediana jerarquía
13	PAM4																0,6	0,3	30%	Mediana jerarquía
14	PAM19	0,5		0,1					0,15	0,15									30%	Baja jerarquía
15	PAM6									0,15			0,1				0,4	0,1	25%	Baja jerarquía
16	PAM12									0,15				0,05			0,4	0,1	23%	Baja jerarquía
17	PAM10									0,15							0,4	0,1	22%	Baja jerarquía
18	PAM17												0,1				0,4	0,1	20%	Baja jerarquía
19	PAM18									0,15	0,05								7%	Baja jerarquía
20	PAM7									0,15									5%	Baja jerarquía

Donde,

- 1 : Si
- 2 : No
- 3 : Metales y metaloides
- 4 : Agroquímicos
- 5 : COP
- 6 : Sales inorgánicas
- 7 : Hidrocarburos y aceites minerales
- 8 : Agua de consumo humano
- 9 : Suelo
- 10 : Agua superficial con otros usos
- 11 : Sedimentos
- 12 : Aire
- 13 : Frutas y hortalizas
- 14 : Peces
- 15 : Lácteos y carnes
- 16 : Distancia de la fuente
- 17 : Cantidad aproximada de personas expuestas