

# INFORME FINAL

PROYECTO N° 1588-155-LE09

## MANEJO DE DESECHOS DE Y CON CONTENIDO DE MERCURIO

Preparado por:

Programa de Medio Ambiente

Fundación Chile

Enero 2009



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>9</b>
2.1	Actividad 1: Identificación de Aplicaciones de la Guía ESM.....	9
2.2	Actividad 2: Evaluación de Laboratorios.....	9
2.3	Actividad 3: Evaluación de Riesgo .....	10
2.3.1	Etapa 1: Caracterización del sitio.....	11
2.3.2	Etapa 2: Evaluación de la exposición .....	12
2.3.3	Etapa 3: Evaluación de la toxicidad .....	12
2.3.4	Etapa 4: Caracterización del riesgo.....	13
2.3.5	Etapa 5: Comunicación del riesgo.....	13
2.3.6	Etapa 6: Análisis de incertidumbre de la metodología .....	13
<b>3</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>14</b>
3.1	Actividad 1: Identificación de aplicación de Guía GEMM .....	14
3.1.1	Observaciones Generales.....	14
3.1.2	Observaciones generales .....	14
3.1.3	Observaciones Específicas .....	14
3.1.4	Conclusiones preliminares.....	20
3.1.5	Conclusiones.....	20
3.2	Actividad 2: Evaluación de Laboratorios.....	21
3.2.1	Zona Norte .....	21
3.2.2	Figura 1. Figura 2. Distribución porcentual de laboratorios que analizan Mercurio en la zona Norte. 22	
3.2.3	Zona Central.....	22
3.2.4	Zona Sur .....	23

3.2.5	Zona Sur (VI hasta la XII región.....	23
<b>3.3</b>	<b>Actividad 3: Evaluación de Riesgo .....</b>	<b>26</b>
3.3.1	Descripción general de la zona de estudio .....	26
3.3.2	Delimitación específica del sitio de estudio.....	34
3.3.3	Evaluación de la Exposición .....	46
3.3.4	Algoritmos Empleados para Estimar la Dosis de Exposición .....	53
3.3.5	Selección de Factores de Exposición Humana.....	54
3.3.6	Evaluación de la Toxicidad.....	55
3.3.7	Caracterización de Riesgos a la Población .....	59
3.3.8	Resultados de los Índice del Peligros y Riesgo de Cáncer .....	63
3.3.9	Análisis de Incertidumbre de la Evaluación de Riesgo .....	65
3.3.10	Discusiones Generales de la Evaluación de Riesgo.....	67
3.3.11	Conclusiones relativas a los Escenarios de exposición.....	70
3.3.12	Conclusiones Generales de la Evaluación de Riesgo.....	70
<b>3.4</b>	<b>Actividad 4: Evaluación de Opciones de Remediación .....</b>	<b>72</b>
3.4.1	Medidas de Mitigación .....	74
3.4.2	Medidas In-Situ.....	75
3.4.3	Medidas Ex situ.....	89
<b>4</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>91</b>
<b>5</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>93</b>
5.1	Anexo 1: Ficha de Auditoría de Laboratorios .....	93
5.2	Anexo 2: Listado de Laboratorios Consultados a Nivel Nacional .....	98
5.3	Anexo 3: Ficha de Inspección de Sitios Contaminados .....	109
5.4	Anexo 4: Resultados de Laboratorio .....	123
5.5	Anexo 5: Perfil toxicológico del mercurio (Completo) .....	131

## GLOSARIO

- **Características de Receptores:** Se definen como las principales características que poseen los seres expuestos, tanto animales como seres humanos, esto permite posteriormente definir los escenarios de evaluación del riesgo, (riesgo ecológico, industrial y residencial).
- **Contaminantes primarios:** Aquellos que proceden directamente de las fuentes de emisión o que constituyen un contaminante en si mismos.
- **Contaminantes secundarios:** Aquellos originados en el medio por interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los constituyentes normales del medio ambiente (agua, aire, suelo).
- **Dosis de Exposición:** Está definida por la cantidad de sustancia a la que se expone el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto. La dosis determina el tipo y magnitud de la respuesta biológica, siendo éste un concepto central de la toxicología.
- **Escenario de Exposición:** Área física que comprende el lugar donde se derraman o emiten los elementos contaminantes al ambiente, donde se transportan y donde las poblaciones entran en contacto con los medios potencialmente contaminantes.
- **Exposición:** corresponde al contacto de una población, individuo o biota con un agente físico o químico crítico. Se debe, por lo tanto, determinar los puntos de exposición.
- **Manejo de Riesgos:** Proceso de toma de decisiones respecto de los riesgos bajo consideración, e incluye información sobre peligros, vulnerabilidad y evaluación de riesgo.
- **Mecanismos de migración de contaminantes:** Mecanismo físico, por el cual el contaminante accede a un compartimiento ambiental.
- **Medio de exposición:** Corresponde al compartimiento ambiental (Suelo, agua y aire) al cual puede acceder potencialmente el contaminante.
- **Modelo Conceptual:** Diagrama de las relaciones conocidas, esperadas y/o previstas entre los potenciales Contaminantes de Interés del sitio y los potenciales receptores asociados que intervienen en el proceso de evaluación, indicando los elementos que intervienen en cada una de ellas.
- **Peligro:** Es la capacidad intrínseca de las sustancias a causar daño. El término "peligroso" se define generalmente para constituyentes no cancerígenos que pueden producir efectos crónicos en los organismos.
- **Punto de Exposición:** Cualquier contacto potencial entre los receptores o bienes a proteger con un medio potencialmente contaminado. Los puntos de exposición más importantes son aquellos donde la concentración sea más alta a un nivel de referencia dado y donde el receptor se clasifique como un grupo sensible.
- **Remediación:** Reducción del riesgo a la salud humana y/o medio ambiente a niveles aceptables de acuerdo a un nivel de referencia dado. La forma e intensidad de la intervención quedará establecida en función del tipo y detalle de la evaluación de riesgo realizada en el sitio.

- **Riesgo:** Probabilidad de ocurrencia de un daño, de una pérdida o de un evento peligroso en un sitio contaminado o potencialmente contaminado y su entorno. Este término aplica para aquellos constituyentes cancerígenos, los cuales no poseen umbral de referencia de toxicidad.
- **Ruta de Exposición:** La trayectoria que sigue un elemento desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones (humanas, vegetales y/o animales) previamente seleccionadas como potencialmente expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos. Una ruta está completa si hay una liberación de una sustancia o elemento desde una fuente, un escenario de exposición donde pueda ocurrir un contacto y una vía de exposición o ingreso.
- **Sitio Contaminado (SC):** Lugar, sitio o terreno, delimitado geográficamente, en el cual existe presencia de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o una combinación de ellos, en concentraciones y períodos iguales o superiores a aquellos considerados para provocar efectos en la salud de las personas.
- **Sitio Potencialmente Contaminado (SPC):** Lugar, sitio o terreno, delimitado geográficamente, en el cual existe presencia de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o una combinación de ellos, en concentraciones y períodos iguales o superiores a aquellos susceptibles de constituir un riesgo, de acuerdo a un valor de Screening (SSLs) dado.
- **Sustancia Peligrosa:** Aquella que por sus características físico-químicas o nocivas, produce o puede producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal y a los elementos materiales tales como instalaciones, maquinarias, edificios, etc. (INN, 1998).
- **Toxicidad:** Propiedad de una sustancia que por acción de contacto directo o al ser absorbida por un organismo, ya sea por vía oral, respiratoria o cutánea, es capaz de producir efectos nocivos sobre la salud humana, animal o vegetal, e incluso la muerte (NCh 382. Of. 98).
- **Vía de Exposición:** Mecanismo por medio del cual el elemento no deseado tiene contacto o es absorbido por el organismo receptor (ingestión, inhalación, contacto dérmico).
- **Vulnerabilidad:** El grado en el que un individuo, grupo o entidad (del medio ambiente, infraestructura, etc.) es susceptible a sufrir un daño como resultado de un peligro. Su evaluación está usualmente referida a la caracterización de las variaciones en el grado de exposición al peligro y la manera en que los receptores pueden lidiar con estos efectos.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe resume los resultados obtenidos en el marco del proyecto "Manejo de Desechos de y con Contenido de Mercurio", proyecto desarrollado por Fundación Chile a solicitud de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, según la Licitación Pública Número 1588-155-LE09.

Este proyecto tiene los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una revisión de la Guía, Draft technical guidelines on the environmentally sound management of mercury wastes (GEMM en adelante), para determinar su aplicabilidad a nivel nacional.
- Realizar una evaluación de los laboratorios que realizan análisis de Mercurio en distintas matrices ambientales.
- Desarrollar una Evaluación de Riesgo Ambiental Preliminar en el Sitio 1 ubicado en Andacollo.
- Determinar las opciones de remediación o mitigación de la contaminación del Sitio 1 ubicado en Andacollo.

En relación al primer objetivo específico, correspondiente a la revisión de la Guía GEMM, se pueden resumir las siguientes fortalezas: la Guía GEMM presenta en forma detallada las principales fuentes, usos, propiedades y procesos relacionados al Mercurio; presentado un perfil toxicológico consistente para este elemento en base a fuentes consolidadas y reconocidas internacionalmente. La Guía presenta problemáticas ambientales generadas por el Mercurio y las consecuencias que pueden generar en la población, además de una revisión histórica de las acciones generadas por las distintas organizaciones para el control de este contaminante a nivel internacional. La Guía presenta programas internacionales para el manejo del Mercurio, algunos mecanismos de minimización y reducción de los usos y residuos de Mercurio como también medidas de remediación y de recuperación así como una revisión bibliográfica extensa a nivel internacional acerca de la problemática del Mercurio.

Las debilidades de la guía tienen relación con su extensión, lo que la hace poco amigable su uso a nivel sitio específico. En relación a la problemática asociada a la pequeña minería de oro y sus pasivos ambientales, esta guía trata la temática de forma simplificada, siendo necesario evaluar la necesidad de elaborar un documento específico que permita analizar estos sitios de manera más detallada.

En cuanto al segundo objetivo específico, se evaluaron los laboratorios ambientales y clínicos que desarrollan análisis de Mercurio en distintas matrices ambientales a nivel nacional. De un total de 218 laboratorios consultados, 30 laboratorios realizan análisis de mercurio, concentrándose éstos principalmente en la Región Metropolitana, con el 60% de los laboratorios que realizan este tipo de determinación en las distintas matrices ambientales. En relación a la Zona Norte y Sur del país, estas presentan el mismo número de instituciones que realizan este tipo de análisis aportando en forma conjunta el restante 40%.

El tercer y cuarto objetivo, relativos al desarrollo de una evaluación de riesgo y la evaluación de opciones de remediación de un sitio específico, se destacan los siguientes resultados:

El depósito de relaves denominado Sitio 1 proviene de la planta "Whittle", la cual se encuentra abandonada desde aproximadamente tres décadas. En el sitio existen aproximadamente 71.000m<sup>3</sup> de materiales de relaves, los cuales se encuentran secos, semi consolidados y con algún grado de cementación en su superficie. El Sitio 1 se encuentra ubicado en la zona urbana de la comuna de Andacollo, colindando directamente con centros poblados. El sitio no se encuentra cercado, permitiendo que niños, adultos y visitantes tengan acceso a este, teniendo así un contacto directo con los relaves.

Para el desarrollo de la evaluación de riesgos se tomaron muestras de los relaves del Sitio 1, identificándose Cobre y Molibdeno como potenciales contaminantes de preocupación. Adicionalmente se incluyó el Mercurio, por tratarse del contaminante objeto del estudio. Los escenarios de exposición que fueron identificados son los siguientes:

- **Escenario 1:** Personas adultas y niños que residen a un costado del sitio.
- **Escenario 2:** Trabajadores adultos que se encuentran desarrollando sus tareas a 20 metros del sitio.
- **Escenario 3:** Visitantes tanto adultos y niños que visitan el sector en festividades u otras instancias.
- **Escenario 4:** Potenciales Trabajadores ante actividades de remediación del sitio.

Los resultados de la evaluación de riesgo para la salud humana en el Sitio 1 arrojaron un riesgo moderado por las altas concentraciones de cobre para los residentes del sector, generado por la inhalación de partículas en el aire, la ingesta involuntaria y la exposición dérmica de relaves provenientes del depósito de relaves. Adicionalmente se identificó un riesgo moderado para los trabajadores adultos por inhalación (98,67%), ingesta involuntaria (1,87%) y exposición dérmica (1,20%). No se identificaron riesgos para los visitantes y trabajadores en caso de actividades de remediación para los tiempos de exposición supuestos.

En relación al Mercurio se puede señalar que los riesgos son despreciables para todos los receptores analizados, pues las concentraciones detectadas en los materiales son muy bajas.

En base a los resultados obtenidos en la evaluación de riesgo para la salud humana se identificaron las siguientes opciones de remediación para el Sitio 1: (a) medidas de mitigación, correspondientes al cercado y la instalación de cortavientos, y (b) medidas de remediación, correspondientes a medias in-situ (coberturas permeables y coberturas impermeables) y medidas ex-situ (movilización, confinamiento y/o reprocesamiento).

La tabla a continuación resume los costos asociados a cada una de estas opciones de remediación:

Medida de Remediación	Costos	Observaciones
<b>In-situ</b>		
Cobertura permeable	\$ 58 Millones	Considera el desarrollo de un Estudio de Estabilidad Física, el reperfilamiento de taludes e instalación de la cobertura permeable.
Cobertura impermeable	\$ 164 Millones	Considera el desarrollo de un Estudio de Estabilidad Física, reperfilamiento de taludes e instalación de la cobertura impermeable.
<b>Ex-situ</b>		
Movilización de relaves	\$ 61 Millones	Considera el costo para la carga y transporte de los relaves.

## 1 Introducción

---

A solicitud de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, según la Licitación Pública Número 1588-155-LE09, se desarrolló el proyecto "Manejo de Desechos de y con Contenido de Mercurio" el cual tiene como objetivo principal fortalecer las capacidades técnicas nacionales para la gestión de desechos de y con contenido de mercurio (particularmente en la pequeña minería de oro), aplicando directrices internacionales en relación al manejo ambientalmente racional de estos desechos. Para ello se seleccionó la localidad de Andacollo en la Región de Coquimbo como zona de estudio, considerando su priorización en el Catastro de Sitios Potencialmente Contaminados con Mercurio.

Dentro de los objetivos específicos del estudio, se destacan los siguientes:

- Realizar una revisión de la Guía, Draft technical guidelines on the environmentally sound management of mercury wastes (GEMM en adelante), para determinar su aplicabilidad a nivel nacional.
- Realizar una evaluación de los laboratorios que realizan análisis de Mercurio en distintas matrices ambientales.
- Desarrollar una Evaluación de Riesgo Ambiental Preliminar en el Sitio 1.
- Determinar las opciones de remediación o mitigación de la contaminación del Sitio 1.

A continuación, se presenta la metodología aplicada para el correcto desarrollo del estudio y los resultados obtenidos, con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

预览已结束，完整报告链接和二维码如下：

[https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=5\\_14079](https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=5_14079)

