

UCH-Fc  
Q. Ambiental  
0151  
C.1



**FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**“EVALUACIÓN DE RIESGO PRELIMINAR POR PRESENCIA DE  
METALES PESADOS Y PROPUESTA DE GESTION AMBIENTAL  
PARA EL SITIO TRAPICHES CARLOS MARTÍNEZ Y CALETA EL  
HUESO”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

**Químico Ambiental**

**Javier Ignacio Ocampo Torrejón**

Director de Seminario de Título:      Dra. Isel Cortés

Diciembre de 2015  
Santiago – Chile

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



## **INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO**

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado el candidato:

**Javier Ignacio Ocampo Torrejón**

**“EVALUACIÓN DE RIESGO PRELIMINAR POR PRESENCIA DE METALES PESADOS Y PROPUESTA DE GESTION AMBIENTAL PARA EL SITIO TRAPICHES CARLOS MARTÍNEZ Y CALETA EL HUESO”**

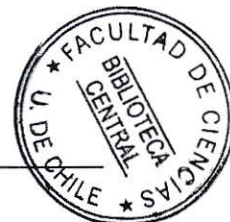
Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

### ***COMISIÓN DE EVALUACIÓN***

*Dra. Isel Cortes Nodarse*  
**Director Seminario de Título**

*MCs. Silvia Copaja*  
**Presidente**

*Mag. Julio Hidalgo*  
**Corrector**



Santiago de Chile, Diciembre de 2015



Nace el año 1987 en Australia, debido al trabajo de su padre, volviendo el mismo año a Chile, en donde se encuentra el resto de su familia. En el transcurso de su educación escolar, vive de los 4 a los 6 años en Quito, Ecuador, y de los 9 a los 11 años en Fort Lauderdale, Florida, Estados Unidos. Luego de terminar el colegio prueba la carrera de Agronomía, no siendo de su gusto, decide retirarse para ingresar al siguiente año a la carrera de Química Ambiental en la Universidad de Chile. Luego de egresar, en el año 2013 ingresa a trabajar en el CENMA donde desarrolla la parte experimental del seminario. De esta forma y luego de los ajustes al enfoque del trabajo, productos de las conversaciones con la profesora Isel Cortes y de los últimos análisis desarrollados durante el invierno del 2015 se finaliza esta etapa entregando el resultado de su investigación para obtener el título profesional de Químico Ambiental. De esta forma pretende poner sus experiencias y conocimientos al servicio del Medio Ambiente y de la salud de las personas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Luego de esta difícil etapa quiero agradecer a Cesar Ocampo y Carolina Torrejón por acompañarme en este proceso entregándome todo su apoyo en todo momento, sobre todo en aquellos momentos difíciles. Al igual que a mis padres, el agradecimiento va para mi hermana Sofía Ocampo Torrejón, quien me apoyo y acompaño a lo largo de mi vida, desde el colegio hasta la universidad, que compartimos como espacios comunes. No puedo dejar de lado el apoyo de mis abuelas, de mi prima y mi tía, la familia pequeña, pero gran familia a la que pertenezco.

Agradezco a la profesora Isel Cortes por darme la oportunidad de realizar el seminario de título con ella, como además de darme la confianza y la oportunidad de trabajar como Analista Química en CENMA, como primer trabajo en mi área de Estudio. También quiero agradecer a mi compañero de curso Guillermo Rivas, Luis Espinoza y Rodrigo Ojeda con quien. Agradecimientos también a Patricia Ayala, quien me recibió y me enseñó mucho en el laboratorio mientras desarrollaba la parte experimental del seminario, como además quien me enseñó mucho mientras trabajaba como analista químico en CENMA.

Agradecimientos también a mi profesora y directora de Tesis, Dra. Isel Cortes, quien gracias a ella pude desarrollar este trabajo, como también por darme la oportunidad de trabajar como analista en el laboratorio de Química del CENMA.

Agradezco también a la gente linda que conocí en los momentos de esparcimiento, en Calama, en Las Gradass y en los pastos, con quienes compartimos ideas, discusiones y otros.

Agradezco a la Bicicleta por ser mi fiel compañera desde el colegio, pudiendo de esta forma evitar el mal llamado “transporte público” y entregarme la autonomía para movilizarme a lo largo y ancho de Santiago, evitando los tacos y el estrés producido por el hacinamiento en el que lamentablemente viaja la mayoría de la población en la ciudad.

Un abrazo gigante para mi madre y padre, sin su apoyo incondicional no hubiera podido terminar este proceso.

Salud y Libertad!

## INDICE GENERAL

RESUMEN	xii
I- INTRODUCCIÓN	1
1.1. Minería y Sitios Contaminados	1
1.2. Metales Pesados como Contaminantes Vinculados a la Minería	4
1.3. Gestión Ambiental	5
1.4. Evaluación de Riesgos a la Salud por Exposición a Contaminantes Ambientales	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo General	8
1.5.2. Objetivos Específicos	8
II MATERIALES Y METODOS	10
2.1. Evaluación Preliminar de Riesgo	10
2.1.1. Selección del Sitio de Estudio	10
2.2. Investigación Confirmatoria	11
2.2.1. Plan de Muestreo	11
2.2.2. Obtención de Muestras	12
2.2.3. Muestras de Valor Base	13
2.2.5. Análisis Químicos de Muestras	16
2.2.5.1. Análisis de Mercurio (Hg) por Mercuriometro	16
2.2.5.2. Análisis de Metales Totales mediante ICP-OES	17
2.2.5.3. Análisis de Metales lixiviados mediante SPLP	17
2.2.5.4. Determinación de pH	18
2.2.5.5. Análisis Complementarios	19
2.3. Comparación con Valores de Referencia	19
2.3.1. Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales	21
2.3.2. Evaluación de Riesgo	22
2.3.2.1. Selección de los Factores de Exposición	22

2.3.3.	Caracterización del Riesgo	25
<b>III RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		<b>28</b>
3.1.	Investigación Preliminar.	28
3.1.1.	Descripción del Sitio Carlos Martínez y Caleta el Hueso	28
3.1.2.	Actividades mineras desarrolladas en el sitio SPPC-334.	28
3.1.3.	Entorno Actual del Sitio	29
3.1.4.	Estudio Histórico	29
3.1.5.	Estudio Geográfico	30
3.1.6.	Estudio del Medio Físico	31
3.1.7.	Estudio de los Receptores	33
3.1.8.	Análisis de la información y desarrollo del Modelo Conceptual	35
3.2.	Investigación Confirmatoria	36
3.3.	Concentración de Metales Totales	37
3.4.	Comparación muestras Valor Base con Metales Totales	39
3.5.	Concentración de Metales Lixiviados mediante SPLP	39
3.6.	Comparación con Normas Internacionales	42
3.7.	Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales (EMEG)	43
3.8.	Selección de los Factores de Exposición	44
3.8.1.	Ingesta Accidental	44
3.8.2.	Contacto Dérmico	45
3.8.3.	Evaluación de Riesgo Crónico No Cancerígeno	45
3.8.4.	Evaluación de Riesgo Crónico Cancerígeno	46
3.9.	Resumen de Resultados.	47
3.10.	Plan de Gestión Propuesto	49
IV.	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>50</b>
V.	<b>REFERENCIAS</b>	<b>53</b>
VI.	<b>ANEXOS</b>	<b>55</b>
6.1.	Determinación de Mercurio Total	55
6.2.	Metales Totales y Metales Lixiviados por SPLP mediante ICP-OES	56
6.3.	Cálculos	57

<b>6.4.</b>	<b>Análisis para Metales por SPLP</b>	<b>59</b>
<b>6.5.</b>	<b>Análisis de Hg mediante SPLP</b>	<b>60</b>
<b>6.6.</b>	<b>Análisis para Mercurio Total</b>	<b>61</b>
<b>6.7.</b>	<b>Análisis para Metales Totales</b>	<b>62</b>



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Elementos que compone el Riesgo -----	8
<b>Figura 2</b> Ubicación geográfica de muestras SPPC.-334-----	15
<b>Figura 3</b> Delimitación SPPC-334-----	31
<b>Figura 4</b> Accesos al SPPC-334-----	32
<b>Figura 5</b> Receptores humanos cecanos al SPPC-334 -----	34
<b>Figura 6</b> Población por Grupos de edad de Taltal (“Diagnostico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes”,CENMA) -----	35
<b>Figura 7</b> Modelo Conceptual (expediente SPPC-334, CENMA) -----	36
<b>Figura 8</b> componentes internos del Mercuriometro -----	56
<b>Figura 9</b> Esquema de los componentes internos del ICP-OES -----	57
<b>Figura 10</b> Criterio de aceptabilidad y elementos de control de calidad para análisis de metales mediante SPLP -----	59
<b>Figura 11</b> Control de calidad y concentración de Hg mediante SPLP-----	60
<b>Figura 12</b> Curva de calibración y concentración de Hg en mercuriometro -----	61
<b>Figura 13</b> Parámetros y criterios de aceptabilidad -----	62

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Análisis estadístico de muestras de valor base	14
<b>Tabla 2</b> Coordenadas de los Puntos de Muestreo SPPC-334	15
<b>Tabla 3</b> Selección de los factores de exposición	23
<b>Tabla 4</b> Variables para exposición a suelos por Ingesta Accidental en uso residencial	24
<b>Tabla 5</b> Variables para exposición a suelos por Contacto Dérmico en uso residencial	25
<b>Tabla 6</b> Concentración metales	totales (mg/kg) 38
<b>Tabla 7</b> Análisis estadístico de Metales Totales	38
<b>Tabla 8</b> Comparación muestras Valor Base con Metales Totales (mg/kg)	39
<b>Tabla 9</b> Concentración Metales Lixiviados (mg/kg)	40
<b>Tabla 10</b> Porcentaje de Metales Lixiviados mediante SPLP (mg/kg)	41
<b>Tabla 11</b> Comparación As lixiviado con normas internacionales (mg/kg)	42
<b>Tabla 12</b> Comparación con normas Internacionales (mg/kg)	42
<b>Tabla 13</b> Comparación Valores EMEG para infantes, niños y adultos con respecto al valor máximo para cada metal.	44
<b>Tabla 14</b> Dosis Ingesta Accidental	45
<b>Tabla 15</b> Dosis Contacto Dérmico	45
<b>Tabla 16</b> Índice de Peligro No-Cancerígeno	46
<b>Tabla 17</b> Índice de Peligro Cancerígeno	47

## **INDICE DE ABREVIACIONES**

<b>PAM</b>	Pasivos Ambientales Mineros
<b>SPPC</b>	Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
<b>SPLP</b>	Synthetic Precipitation Leaching Procedure
<b>EMEG</b>	Environmental Media Evaluation Guides
<b>MRL</b>	Minimal Risk Level
<b>RfD</b>	Dosis de Referencia
<b>ASTDR</b>	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
<b>ELCRT</b>	Excess Lifetime Cancer Risk

## RESUMEN

En este Seminario se realizó una Evaluación Preliminar de Riesgo para el SPPC-334 “Trapiches Carlos Martínez y Caleta el Hueso”, debido a la cercanía con asentamientos urbanos y a la evidencia de la potencial contaminación que significa un Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes, correspondientes a desechos mineros no gestionados.

Se midió la concentración de metales en las muestras de suelo recolectadas en el sitio y se calculó la media aritmética con nivel superior de confianza 95% UCL (upper confident limit). Al comparar los resultados con muestras de valores base (sin intervención antrópica) y con valores de referencia de normas internacionales se obtuvo que .:

- **Cadmio** supera la norma de Brasil;
- **Arsénico** supera la normas de Canadá, Australia, Brasil, Comunidad Autónoma del País Vasco y México;
- **Cobre** supera la normas de Canadá, Australia y Brasil;
- **Plomo** supera la norma de Brasil;
- **Vanadio** supera la norma de México;
- **Bario** supera la norma de Canadá y Brasil;
- **Cobalto** supera la norma de Brasil; y
- **Mercurio** supera la norma de Brasil y la Comunidad Autónoma del País Vasco.

En base a los resultados se calculó los Valores Guías para Medios Ambientales (EMEG) para definir los contaminantes críticos presentes en el sitio.

Los contaminantes críticos que pasaron a evaluación de toxicidad fueron Cobre, Cadmio y Arsénico, debido a que sus máximos de concentración (8.795,65 mg/kg; 4,10 mg/kg y 2334,36 mg/kg respectivamente) en los puntos analizados fueron superiores a los valores EMEG calculados para infantes (1 a 2 años) y para niños (3 a 6 años) para los 3 contaminantes y para el caso de arsénico para adultos también.

Se caracterizó el riesgo por cadmio, arsénico y cobre, calculando exposición para ingesta accidental y exposición dérmica (no cancerígeno), como también riesgo extra de cáncer de por vida para el arsénico.

La caracterización preliminar de riesgo no cancerígeno, por medio del Índice de Peligro HI, donde  $HI > 1$  indica existencia de riesgo, dio valores de :

- 38,59 para arsénico en niños y 9,926 en adultos
- 1,266 para el cobre en usos residenciales, industrial y recreacional de suelo.

Para la caracterización preliminar del riesgo cancerígeno, se tolera un riesgo extra de cáncer de por vida total de 1 caso en 10.000 habitantes ( $ELCRT < 1 \cdot 10^{-4}$ ), habiendo calculado para niños un  $ELCRT = 1,67 \times 10^{-3}$  y para adultos  $ELCRT = 6,8 \cdot 10^{-4}$  en usos residenciales industrial y recreacional de suelo, se encuentra un alto nivel de riesgo de cáncer superando ampliamente el valor establecido para la evaluación ( $ELCRT < 1 \cdot 10^{-4}$ ).

## ABSTRACT

A preliminary risk evaluation to the SPPC -334 "Trapiches Carlos Martinez y Caleta el Hueso" was performed due to the proximity to urban settlements and the evidence of potential contamination in SPPC-334.

The concentration in soil samples collected at the site was measured and it was calculated the arithmetic mean was calculated with higher confidence level of 95 % UCL (upper confident limit) . The results where compared with background samples ( without human intervention ) and international standards.

- Cadmium exceeds Brazil standard.
- Arsenic exceeds the standards of Canada, Australia, Brazil, País Vasco and Mexico.
- Copper exceeds the standards of Canada, Australia and Brazil.
- Lead exceeds the standard of Brazil.
- Vanadium exceeds the norm of Mexico.
- Barium exceeds the norm in Canada and Brazil.
- Cobalt exceed the standard of Brazil.
- Mercury exceeds the standard of Brazil and the Pais Vasco

Based on the results, EMEG was calculated to define the critical pollutants on the site.

Critical contaminant that were chosen to due the toxicity evaluation are copper, cadmium and arsenic, because its maximum concentration ( 8795.65 mg/kg , 4.10 mg/kg and 2334.36 mg/kg respectively ) in the sampled points were higher than EMEG values calculated for infants and children for the 3 contaminants and in the case of arsenic for adults too.

The risk was characterized for cadmium , arsenic and copper by calculating exposure to accidental ingestion and dermal exposure ( non-cancerous ) , as well as additional cancer risk for arsenic .

Preliminary characterization of non-carcinogenic risk indicates that if  $HI > 1$  there is the existence of risk. The values obtained were:

- 38.59 for arsenic in children and 9,926 adults
- 1,266 for copper in residential , industrial and recreational land uses.

For the preliminary characterization of carcinogenic risk , an extra lifetime cancer risk is tolerated (ELCRT) 1 case in a population of 10,000 inhabitants ( ELCRT  $< 1 \times 10^{-4}$  ) , For kids ELCRT is  $1,67 \times 10^{-03}$  and for adults ELCRT is  $6.8 \times 10^{-04}$  in industrial, residential and recreational land use , this values indicates a cancer risk because it is exceeding the value set for the evaluation ( ELCRT  $< 1 \times 10^{-4}$  ).

## **I- INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Minería y Sitios Contaminados**

#### **1.1.1. Antecedentes Históricos de la Minería en Chile**

La actividad minera se ha desarrollado, a lo largo de Latinoamérica, desde mucho antes de que llegaran los españoles. Los habitantes del sector de la Cordillera de los Andes, trabajaban oro, cobre y plata, entre otros metales, de forma artesanal, para la fabricación de adornos, herramientas y armas. Esta actividad no cesó, de hecho incrementó, luego de la violenta interrupción de los españoles en el continente.

En el Cono Sur, donde se encuentra Chile, no fue hasta el año 1800, donde se produce una gran expansión de la minería en el territorio, abarcando desde donde hoy en día es la Región de Antofagasta hasta la Región del Aconcagua. (Historia de la Minería en Chile)

Durante el siglo XIX, Chile pasó a ser uno de los principales productores de plata a nivel mundial principalmente mediante la explotación minera de Chañarcillo, Tres Puntas y Caracoles. Además se convirtió en el principal productor de cobre, aportando el 30% a nivel mundial.

Otro mineral que contribuyó fuertemente al desarrollo económico del país fue el salitre (nitrato de sodio), extraído entre la Región de Tarapacá y Antofagasta., por su reconocido poder fertilizante y materia prima para la fabricación de pólvora.



Alrededor de 1930, se produce en Alemania, el nitrato de sodio sintético, provocando una disminución de la exportación del salitre en un 90% lo que dio origen a una gran crisis económica para el país. Para 1913 operaban 137 oficinas salitreras entre Pisagua y Taltal, las que de a poco fueron siendo abandonadas.

Además de salitre, Plata y Cobre, se extraía Molibdeno, Hierro, Manganeseo Yodo, Litio y Boratos.

### **1.1.2. Pasivos Ambientales Mineros.**

La extracción de minerales, metálicos o no metálicos, produce una gran cantidad de residuos, por ejemplo en el caso del cobre, del 100% de la roca original, el 95% son residuos mineros. Con el paso del tiempo, los procedimientos de extracción artesanal, se han sofisticado, hasta llegar a tecnologías muy avanzadas. Sin embargo, independiente de la tecnología utilizada en los procesos de extracción de minerales, los desechos, pueden contener una gran variedad de compuestos químicos y mineralógicos, los que podrían ser nocivos para la salud de las personas y los ecosistemas (Sanchez. L E, 2000).

Antiguamente, en Chile y el mundo, las diferentes compañías mineras, no tenían obligación de remediar los impactos ambientales que provocaban debido a la ausencia de normas dispuestas para esto. Por esto, no se consideraban protocolos para el cierre de las faenas.

Así, a lo largo de los años, fueron abandonados residuos, sólidos, líquidos y/o gaseosos, que aún permanecen almacenados en variadas formas, sin manejo ambiental adecuado. A estos sitios se les denomina Pasivos Ambientales Mineros (PAM) (Yupari.A).

Esto condujo a definir los “Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes” (SPPC) (Guía Metodológica SPPC, 2012) como los “sitios o terrenos, delimitados geográficamente, en donde se desarrolla o se han desarrollado actividades potencialmente contaminantes (aquellas actividades que producen, utilizan, manipulan, manejan, almacenan, tratan o disponen sustancias, que por sus características fisicoquímicas, biológicas y toxicológicas, producen o pueden producir daños a la salud humana, animal o vegetal).

### **1.1.3. Catastro y Diagnóstico de Pasivos Mineros en Chile**

En el informe de “Evaluación de Desempeño Ambiental en Chile” elaborado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y la Comisión Económica Para América Latina (CEPAL) en 2005, se plantea, entre otras cosas, que existe poca información acerca de la contaminación por metales pesados y compuestos tóxicos que fueron generados por las actividades mineras, por lo que es necesario hacerse cargo y realizar una evaluación de la contaminación que estas provocan, para preparar un “Plan Nacional de remediación para los sitios contaminados” (OCDE, CEPAL, 2005)

Como consecuencia, en 2010 se realiza el “Catastro de Faenas Mineras Abandonadas o Paralizadas; Análisis Preliminar de Riesgos”, en donde son registrados sistemáticamente los PAM, ordenados por región. (Catastro de Faenas Mineras, 2010).

Con la información obtenida a través del catastro, el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) desarrolla el “Diagnostico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes” con el fin de jerarquizar los sitios que reúnen la

mayor cantidad de factores que representan un riesgo para la salud de las personas (CENMA, 2013), como por ejemplo la cercanía con asentamientos humanos.

## **1.2. Metales Pesados como Contaminantes Vinculados a la Minería**

Los elementos metálicos son los elementos más abundantes de la tabla periódica, sin tomar en cuenta a los lantánidos y actínidos, ya que estos elementos son poco abundantes en los sistemas ambientales. Los diferentes elementos se encuentran en equilibrio generalmente en los sistemas, pero si su concentración por algún motivo, que puede ser natural o antropogénico, supera ciertos niveles, pueden ser tóxicos para los seres vivos.

En el campo de las ciencias ambientales, tomando en consideración el impacto ambiental que causan producto de su toxicidad, cuando ciertos elementos metálicos superan las concentraciones críticas, son denominados como Metales Pesados.

Existen diferentes formas antropogénicas de emisión de los diferentes metales pesados al medio ambiente, como lo son la industria metalúrgica, la extracción y fundición de minerales, la agricultura y ganadería entre otros. (Domènech, X y Peral, J. 2006)

Los metales alcalino y alcalino-terreos más ligeros (Na, K, Mg y Ca) son abundantes y se encuentran generalmente en su forma catiónica formando sales solubles en agua. De los metales de transición, los más abundantes son Al, Mn, Mo, Cu, Zn y Ti, que se encuentran como óxidos y aluminosilicatos, en formas poco solubles.

De los elementos metálicos, podemos encontrar un gran grupo que son nutrientes esenciales para plantas y animales, como además micronutrientes (Mn, Mo, Cu, Zn. Sc y

V), mientras que otro grupo de elementos, son esenciales para los animales únicamente (Ni, Sn, Cr).

### **1.3. Gestión Ambiental**

La Gestión Ambiental se puede definir como: “La manera de organizar la acción pública y privada para dar soluciones integrales, preventivas y participativas a los problemas del medio ambiente” (CIPMA, 2012). Cuando se habla de Gestión Ambiental, se refiere a la identificación del impacto que tiene el desarrollo de actividades y productos en el medio ambiente, para poder gestionar y minimizar el impacto. Es necesario tener en cuenta que se tiene que llevar a cabo el cumplimiento de los requisitos legales que se piden para las actividades y productos.

#### **1.3.1. Gestión Ambiental Territorial**

Una Gestión Territorial es la forma en que se organiza y se desarrolla la gestión de un territorio delimitado, en función de objetivos y fines determinados. Hay que tener en consideración las dos condicionantes que actúan en el proceso; los componentes y los factores. Los componentes se refieren a los elementos de carácter estático en el medio natural (medio físico y biótico), el medio construido, el paisaje y los ecosistemas. Los factores son los procesos que alteran el medio territorial, como las variables socio demográficas, los diferentes usos del suelo, las variables económicas entre otras. ([http://www.grn.cl/Conceptos\\_%20generales\\_ambiental\\_territorial\\_participacion\\_ciudadana\\_MOP.pdf](http://www.grn.cl/Conceptos_%20generales_ambiental_territorial_participacion_ciudadana_MOP.pdf))

La Gestión Ambiental Territorial es la manera de organizar la acción pública y privada de un territorio delimitado tomando en cuenta los componentes (medio natural, medio construido, paisaje, y ecosistemas) y los factores (factores que alteran el territorio) en función de entregar soluciones integrales, preventivas y participativas de los problemas del medio ambiente.

La Gestión Ambiental Territorial es una herramienta que es necesario tener en consideración, ya que dependiendo del uso que se le dé al suelo, puede tener como objetivos diferentes políticas ambientales territoriales (<http://qacontent.edomex.gob.mx>):

- **Política de Protección:** promueve la permanencia de los ecosistemas nativos, para conservar la diversidad.
- **Política de Conservación:** Cuando las condiciones de la unidad ambiental se mantiene en equilibrio, el desarrollo sustentable se verá condicionado a la preservación, mantenimiento y reproducción de los recursos.
- **Política de Restauración:** cuando se presentan alteraciones en el equilibrio ecológico, se hace necesario recuperar y reestablecer las condiciones para la continuidad de los recursos.
- **Política de Aprovechamiento:** Se contemplan restricciones leves y recomendaciones puntuales conservando la función y la capacidad de carga de los ecosistemas

El estado actual en que se encuentra el planeta, en términos de:

- La sobreexplotación de los recursos naturales, superando la capacidad de carga de los ecosistemas,
- La contaminación producida por la minería, la agricultura, la ganadería
- Las grandes cantidades de basura domiciliaria e industrial, ha ocasionado que lentamente las políticas públicas y privadas tomen en consideración el

problema medio ambiental. Por esto es necesario llevar a cabo políticas de Gestión Ambiental Territorial en cada proyecto que se realiza, como también, si es el caso, en lugares donde, por alguna razón en la historia, quedaron abandonados residuos con sustancias o elementos que puedan presentar un riesgo para la salud de las personas y para el medio ambiente.

#### **1.4. Evaluación de Riesgos a la Salud por Exposición a Contaminantes Ambientales**

La Evaluación de Riesgo es una herramienta multidisciplinaria que apoya a los científicos y autoridades a identificar si existe una amenaza a la salud de la población o al ecosistema. Para que exista riesgo, tiene que existir 3 factores;

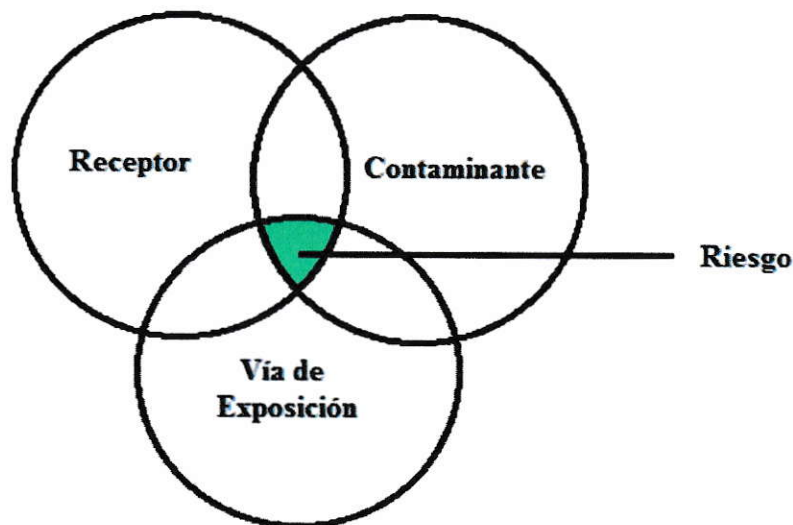
- **una fuente contaminante** (“contaminante” en concentración suficiente para ser potencialmente dañino),
- **un receptor** (organismo vulnerable a la exposición de un “contaminante”)
- **una vía de exposición** (medio por el cual un organismo receptor y algún “contaminante” entren en contacto directo).

Para que exista riesgo, es necesario estar expuesto a una sustancia mediante una vía de exposición y que esta exposición represente peligro para la salud. Por ejemplo si existe una alta concentración de un contaminante, pero no existe un receptor, con el cual entrar en contacto, no puede haber un riesgo para la salud o medio ambiente.

Mediante la evaluación de riesgos de un sitio determinado, se puede caracterizar un riesgo tolerable y uno intolerable

En ocasiones se confunde el riesgo, con el peligro. La diferencia que existe entre ambos es que el riesgo es la probabilidad de sufrir daños, mientras que el peligro se refiere a

la capacidad intrínseca de causar daño (Rhim & Anacona, 2004). A continuación se presenta un esquema de Riesgo con sus factores:



**Figura 1.** Elementos que compone el Riesgo

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Realizar una Evaluación de Riesgo Preliminar para el Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes 334 para confirmar o descartar la presencia de elementos que signifiquen riesgo para la salud de la población, con el fin de realizar una propuesta de gestión ambiental para el sitio.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Obtener antecedentes del Suelo con Potencial Presencia de Contaminantes 334 (condiciones ambientales, ubicación, uso del suelo, posibles sustancias contaminantes, posibles receptores de estas sustancias), relevantes para la evaluación de riesgo.

- Determinar en muestras del terreno la presencia y concentración de: Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Pb, Al, Se, Mn, Ag, V, Ba, Co, Mo, Be, B, Fe y Hg, considerados como contaminantes provocando riesgo para la salud de la población.
- Determinar la capacidad de lixiviación de Pb, Ba, As, Cr, Cd y Hg en condiciones normales mediante Synthetic Precipitation Leaching Procedure (SPLP).
- Confirmar la presencia de contaminantes y comparar con normas internacionales de suelos de uso residencial de Canadá, Australia, Estados Unidos, México, Brasil (Estado de Sao Paulo) y comunidad autónoma del País Vasco .
- Realizar evaluación de riesgo preliminar a la salud de las personas mediante Guía de evaluación para medios ambientales (EMEG)
- Proponer un plan de gestión para el sitio SPPC 334 en base a los resultados obtenidos



## **II MATERIALES Y METODOS**

Se siguió la metodología presentada por la Guía Metodología para Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes, realizada por Fundación Chile, recopilando los antecedentes de la investigación preliminar. Luego se terminó con la fase de investigación confirmatoria y se desarrolló una evaluación de riesgo preliminar.

### **2.1. Evaluación Preliminar de Riesgo**

Para confirmar la presencia de contaminantes, es que se hace necesario llevar a cabo una Evaluación Preliminar de Riesgo. Este es un procedimiento de evaluación consecutivo, con el objetivo de comprobar la presencia de contaminación. En una primera etapa se lleva a cabo un análisis de la información cualitativa, para posteriormente, con el desarrollo de datos cuantitativos comprobar la existencia de riesgo preliminar (Guía Metodológica SPPC, 2012)

#### **2.1.1. Selección del Sitio de Estudio**

Luego del Catastro de Faenas Mineras Abandonadas o Paralizadas, CENMA procedió a jerarquizar los sitios mediante el análisis de diversos factores, para determinar cuáles podrían representar un riesgo para la salud de las personas. Para esto se elaboró un listado regional. El sitio que se estudiará es el “SPPC-334 Trapiches Carlos Martínez y Caleta el Hueso”, diagnosticado como de alta jerarquía en el Diagnostico Regional de Suelos Abandonados.

### **2.1.2. Recopilación de Antecedentes cualitativos del sitio**

Se realizó la investigación preliminar por CENMA, para verificar la existencia de una fuente de contaminación, una ruta de exposición y un receptor. Para ello se revisó antecedentes históricos, localización geográfica, características climatológicas, poblaciones aledañas, inspección de las instalaciones, etc. Con los resultados obtenidos se elaboró el modelo conceptual mediante un esquema que describe las rutas de exposición, desde la emisión de los contaminantes, hasta el lugar en que tienen contacto con los receptores.

## **2.2. Investigación Confirmatoria**

Se revisó la información recopilada en la investigación preliminar y el modelo conceptual, prestando especial atención en las potenciales fuentes de contaminación, la identificación y descripción del medio físico, identificación de posibles vías de movilización y la evolución espacial y temporal de la contaminación.

### **2.2.1. Plan de Muestreo**

Con la información recopilada, CENMA procedió a definir el plan de muestreo para identificar la presencia de contaminantes en zonas donde se presume que los contaminantes puedan migrar. Así se puede confirmar o descartar la hipótesis sobre la presencia de contaminantes en el SPPC-334. Para realizar el plan de muestreo se consideraron los siguientes aspectos:

- **Definición de los contaminantes de interés:** para el SPPC-334, los contaminantes evaluados son los siguientes:
  - Metales totales: Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Pb, Al, Se, Mn, Ag, V, Ba, Co, Mo, Be, B, Fe y Hg

- Metales lixiviados mediante SPLP: Pb, Ba, As, Cr, Cd y Hg
- **Hipótesis sobre la distribución de contaminantes:** El sitio SPPC 334 corresponde a una antigua minera artesanal de oro y plata, en donde se encuentran unos antiguos trapiches, piscinas de amalgamación y 2 acopios de material fino, que pueden contener restos de elementos “contaminante”, lo que puede significar riesgo para la salud de la población.
- **Componentes ambientales a Muestrear:** El componente muestreado es el suelo a nivel superficial-subsuperficial.
- **Muestras Background (Valor Base):** en la Resolución Exenta N° 406 del MMA de 15 de Mayo de 2013, define al background como “aquella concentración natural de un elemento químico en el suelo que no ha sido alterado por la actividad humana, localizado en las cercanías del sitio o suelo en estudio.
- **Análisis químicos** .Los análisis realizados fueron:
  - Digestión Acida en microondas para la determinación de metales totales
  - Descomposición térmica para mercurio total.
  - Medición de pH
  - SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)
  - Determinación del mercurio lixiviado mediante SPLP a través de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Vapor Frio
- **Procedimiento de control y aseguramiento de calidad:** Para la obtención de muestras, se tomaron duplicados de 2 muestras, y en los análisis en laboratorio se utilizaron todas las muestras, más un blanco, una muestra de referencia y un duplicado de análisis por cada 10 muestras de terreno.

### 2.2.2. Obtención de Muestras

Se utilizó las herramientas graficas descargadas desde Google Earth Pro, se estableció de manera aproximada el área del sitio SPPC-334, el cual se estima de 5,3

hectáreas. Siguiendo las recomendaciones de la Guía de Ihobe, asumiendo una distribución heterogénea de los contaminantes, se estimó el número de puntos a muestrear mediante la siguiente fórmula:

$$N = 5 + Ha \quad (\text{Ec 1})$$

Donde N es el número de muestras y Ha, el número de hectáreas, (5,3 para el sitio SPPC-334):

$$N = 5 + 5,3 = 10,3$$

$$N = 10 \text{ aprox}$$

Se redondea 10,3 a 10, y se toman 10 muestras puntuales. El nivel del muestreo fue superficial-subsuperficial (0 a 20 cm). Se seleccionó esta profundidad, ya que representa una estimación razonable del contacto dérmico con suelos contaminados por uso agrícola actual o en el futuro. Esto supone el contacto dérmico que podría tener una persona sin utilizar elementos de seguridad como guantes al plantar almacigos o semillas. Se utiliza esta profundidad en múltiples estudios, considerada como adecuada entre la información entregada y el posterior diseño de un plan de gestión de sitios. (Expediente 334, CENMA)

### 2.2.3. Muestras de Valor Base

En Chile no existe una metodología establecida para la obtención de los niveles base de los diferentes metales en el suelo, por lo que se hace necesario el desarrollo de una metodología para la evaluación de los SPPC. Es por esta razón, en el que la toma de muestras de valor base se utilizó la información entregada por CENMA quien para el



proyecto de SPPC de la Región de Antofagasta, tomó muestras puntuales en las cercanías de los diferentes sitios SPPC consideradas de alta jerarquía.

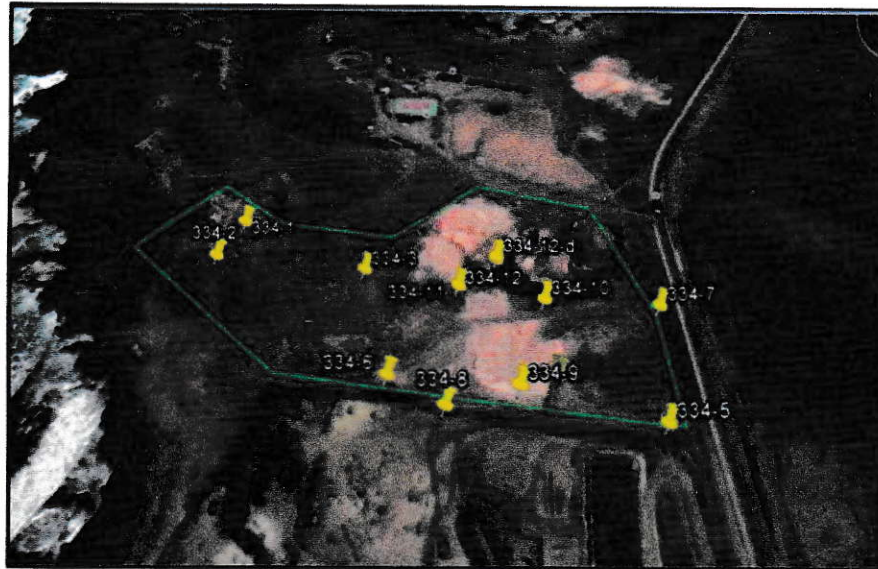
En la siguiente tabla se presenta el análisis estadístico de las muestras de valor base:

**Tabla 1** Análisis estadístico de muestras de valor base

	Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al	Se	Mn
<b>promedio</b>	1,24	75,88	31,84	21,67	91,61	41,69	12,74	3698,22	<2,29	561,43
<b>SD</b>	0,77	75,41	16,73	15,94	81,57	44	11,83	2915,55	0	351,57
<b>N°</b>	17	17	17	17	17	17	17	17	0	17
<b>Minimo</b>	0,91	7,26	4,6172	7,3	11,13	3,55	1,835	32,59	0	101,99
<b>Maximo</b>	3,579	346,96	65,26	64,16	285,54	173,63	48,91	12447,66	0	1404,38
<b>Mediana</b>	0,91	57,56	31,08	21,31	63,33	22,2	10,63	3481,77	<2,29	507,5
<b>95% UCL</b>	1,56	155,6	38,92	26,03	126,2	68,32	17,75	5133	<2,29	710,3
<b>Distribución</b>	t-student	chebystev	t-student	t-student	t-student	gamma	t-student	t-student	<2,29	t-student
	Ag	V	Ba	Co	Mo	Be	B	Fe	Hg	pH
<b>promedio</b>	0,98	112,45	101,65	18,19	<8,3	<1,65	103,91	19514,46	0,031	7,06
<b>SD</b>	0,47	60	70,48	10,18	0	0	47,07	8318,48	0,03	0,42
<b>N°</b>	17	17	17	17	0	0	17	17	17	17
<b>Minimo</b>	0,865	12,51	4,425	3,15	0	0	3,54	6070,29	0,004	6,47
<b>Maximo</b>	2,615	233,62	242,75	43,27	0	0	166,02	36809,57	0,114	7,75
<b>Mediana</b>	0,865	117,29	74,35	15,25	<8,3	<1,65	110,55	19341,87	0,024	7,07
<b>95% UCL</b>	1,185	137,9	131,5	20,5	<8,3	<1,65	123,8	23037	0,0441	7,234
<b>Distribución</b>	t-student	t-student	t-student	t-student	<8,3	<1,65	t-student	t-student	t-student	t-student

#### 2.2.4. Puntos de muestreo

A continuación se presenta una imagen del sitio y los puntos de muestreo, como además una tabla en donde se muestra las georreferencias de los puntos.



**Figura 2** Ubicación geográfica de muestras SPPC.-334

**Tabla 2** Coordenadas de los Puntos de Muestreo SPPC-334

Muestra	Coordenada d UTM Huso 19 Datum WGS84	
	Coordenada E	Coordenada S
334-1	351581	7190741
334-2	351566	7190713
334-3	351670	7190699
334-4	351797	7190614
334-5	351857	7190580
334-6	351691	7190619
334-7	351862	7190660
334-8	351728	7190597
334-9	351773	7190609
334-10	351790	7190670
334-11	351734	7190683
334-12	351759	7190703

### **2.2.5. Análisis Químicos de Muestras**

Los análisis químicos a las muestras de suelo obtenidas en terreno, fueron realizados en Laboratorio de Química del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Los instructivos utilizados, están acreditados mediante el Certificado de Acreditación LE-174 del Instituto de Normalización.

**Nota:** Los parámetros analíticos de aceptabilidad de los análisis realizados se encuentran en las figuras 10, 11, 12 y 13 en los anexos, al igual que las condiciones del ICP-OES y del mercuriometro. Los ácidos y reactivos utilizados son de grado para análisis (p.a).

#### **2.2.5.1. Análisis de Mercurio (Hg) por Mercuriometro**

El mercuriometro es una técnica relativamente nueva. Se realiza mediante un equipo en el que se combina la descomposición térmica, conversión catalítica, amalgamación y espectrofotometría de absorción atómica.

- La muestra es puesta un bote de cuarzo, el cual es calentado de forma controlada para secar la muestra.
- Los productos de descomposición son arrastrados con un flujo continuo de oxígeno, en donde pasan por un lecho catalizador en donde son retenidas los posibles interferentes.
- Las especies de mercurio, son reducidas a Hg elemental y se llevan al amalgamador de oro, el cual retiene el mercurio de forma selectiva.

- El amalgamador es calentado lo suficiente para liberar al mercurio en forma de vapor, para llevarlo al paso óptico de una celda espectrofotométrica de absorción atómica. La absorbancia a 253,7 nm es medida, obteniendo la concentración de mercurio en la muestra.

#### **2.2.5.2. Análisis de Metales Totales mediante ICP-OES**

Las muestras analizadas fueron muestras sólidas, por lo que fue necesario la extracción de los analitos de interés mediante el instructivo ILQAS-0023.

Una porción de 0,5 g de suelo, se digiere con una mezcla de ácidos concentrados de HNO<sub>3</sub>/HF (9/3 mL), asistida por microondas en vasos de teflón. La solución obtenida es concentrada en una plancha a una temperatura de 95 +/- 2 °C, hasta llegar a un volumen de 1 ml aproximado. La solución es filtrada y se afora la solución concentrada con HNO<sub>3</sub> 1% a 25 mL.

La solución debe permanecer a un pH ácido (pH < 2), para que de esta forma los metales se encuentren disueltos. Esta solución es la que se utiliza para inyectarla al espectrómetro de plasma inductivamente acoplado Perkin Elmer modelo Optima 3300 XL, donde se obtienen las intensidades de emisión a diferentes longitudes de onda. Utilizando las respectivas curvas de calibración, se cuantifica la concentración de los analitos de interés.

#### **2.2.5.3. Análisis de Metales lixiviados mediante SPLP**

Mediante el análisis con el ICP-OES, se determinó la concentración total de los metales. Mediante el SPLP, se simula la situación cuando un material se encuentra en la



superficie del suelo y es expuesto a lluvia levemente ácido, para determinar la movilidad de los analitos producto de la lixiviación. Es por esto que es necesario simular las condiciones de la lluvia para determinar la movilidad química del metal en el medio ambiente. Dependiendo si la muestra de suelo contiene o no carbonatos, se utiliza un extractante diferente. El análisis se llevó a cabo de la siguiente manera:

- **Determinación de carbonatos:** a una pequeña porción de muestra sólida se le añade 1 a 2 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, si burbujea es por la liberación de CO<sub>2</sub> por la presencia de carbonatos, por lo que se utiliza Extractante 1 pH = 4,2 +/- 0,05.
- Si la muestra no presenta carbonatos se utiliza Extractante 2 pH = 5,0 +/- 0,05 .  
(Los extractantes fueron preparados utilizando una solución sulfo-nítrica 60/40 )

En frascos de 0,5 L se introducen 20 gramos de muestra de suelo y se agregan 400 ml del extractante correspondiente a cada muestra, y se introducen los frascos en el agitador rotatorio (30 +/- 2 rpm) por 18 +/- 2 horas. Las muestras son filtradas para la lectura en el ICP-OES obteniendo la concentración de Cd, Cr, Ba, Pb, As y Se.

#### **2.2.5.4. Determinación de pH**

La determinación de pH se realiza según el instructivo ILQAS-0001. Se utilizan 20 g de muestra de suelo, 20 mL de agua desionizada y se agita durante una hora, para luego medir el pH de la solución sobrenadante, utilizando el pHmetro HANNA PH211, con un electrodo HI 1043, previamente calibrado con soluciones estándares de pH 4 y pH 7 Merck a temperatura ambiente.

### 2.2.5.5. Análisis Complementarios

Como análisis complementarios, para la determinación de mercurio lixiviado mediante SPLP, se midió mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica por Vapor Frío. Para esto se utilizó una porción de la muestra lixiviada mediante SPLP. En frascos de DBO5 se mezcla: 100 mL de solución lixiviada, 5 mL de HCl y 2,5 ml de HNO<sub>3</sub> 15 mL de permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub> al 5%) 8 mL de peroxosulfato de dipotasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> al 5%). Los frascos son introducidos a un baño María con agua, durante 2 horas a 94 +/- °C. Al enfriarse, se agrega 5 mL de hidroxilamina (12%)-Cloruro de Sodio (12%) con el fin de eliminar interferentes. Una vez disueltos los precipitados, se procedió a leer en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer AAnalyst 700.

### 2.3. Comparación con Valores de Referencia

Debido a que en Chile no existen normas ambientales para el suelo, se hace necesario comparar las concentraciones obtenidas en los análisis de suelos con normas internacionales. Se seleccionaron 5 países para esto:

- **Canadá:** se utiliza la guía sobre “Normas Canadienses de la Calidad del Suelo para la Protección de la Salud del Medio Ambiente y los Humanos” (Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health), para las normas correspondientes al uso de suelo residencial y de zonas verdes.
- **Australia:** Se utiliza la guía del Departamento de Medio Ambiente y Conservación, “Serie para el manejo de sitios contaminados; Niveles para la Evaluación de Suelos,



Sedimentos y Agua”(Assessment levels for Soil, Sediment and Water). Se utilizan los límites de uso Suelo de uso residencial con jardín accesible.

- **Brasil:** se utiliza el documento “COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005”.

Dentro de este documento existen diferentes valores, para este caso se comparan con los Valores de Prevencion (VP), que es la concentración de una determinada sustancia por encima del cual pueden ocurrir alteraciones perjudiciales a la calidad del suelo y del agua subterránea. Este valor indica la calidad de un suelo de ser capaz de sustentar sus funciones primarias protegiendo tanto estas funciones como los receptores ecológicos y la calidad de las aguas subterráneas.

- Criterios establecidos para la calidad de Suelos en la **Comunidad Autónoma del País Vasco**, España: Se utilizan los criterios utilizados para la ciudad.
- **México:** Norma de Calidad Mexicana (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004) para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cromo hexavalente, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio y/o Vanadio. Se utiliza el criterio para Uso de Suelo Agrícola/Residencial/Comercial

### 2.3.1. Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales

Además de comparar con normas internacionales, se utilizaron los valores guía para la evaluación de Medios Ambientales para determinar qué elementos deben ser analizados toxicológicamente.

Los EMEG han sido propuestos por la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de enfermedades de los Estados Unidos de América (ASTDR). Como función principal, estos entregan una referencia para poder definir los contaminantes críticos para los Suelos o Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes.

Estos valores se basan en el fundamento en que se toma en cuenta la dosis con la cual el contaminante no causa daño alguno (Ecuación 2), para el caso de la ASTDR se utiliza el Minimal Risk Level (MRL) o las Dosis de Referencia (RfD) de la EPA.

$$EMEG = \frac{\left( MRL \text{ o } RfD \frac{\frac{mg}{kg}}{\text{día}} \right) \times PC (kg)}{TI (kg)} \quad (Ec 2)$$

En donde:

- MRL: Minimal Risk Level, puede obtenerse de la bibliografía publicada por ATSDR.
- RfD: Dosis de Referencia, se puede obtener del banco de datos IRIS del sistema TOXNET
- PC: Peso Corporal = 10 kg Infante, 14 kg niño (3 a 6 años) o 70 kg adulto
- TI: Tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg niño, 50 mg adulto

Hay que tener en cuenta que el EMEG no es una norma ambiental, sino es utilizada como referencia para definir los contaminantes críticos del sitio. Es utilizada como una guía

ambiental de máxima seguridad. Por lo tanto si un contaminante supera el EMEG, debería ser sujeto de un análisis toxicológico.

Los criterios utilizados para PC y TI se utilizaron los valores recomendados por “Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados presentes en el documento OPS/CEPI/PUB/99.34.

Luego de calcular los valores de EMEG para cada contaminante, se compararon con el valor máximo obtenido para cada metal, en el análisis estadístico, con el fin de visualizar cuales son los que superan el valor de EMEG y definir que contaminantes del SPPC-334 deben pasar a un análisis toxicológico, o como se define en la Guía Metodología para SPPC, realizar la evaluación de riesgo para la salud de las personas.

### **2.3.2. Evaluación de Riesgo**

La Evaluación de Riesgo tiene como objetivo establecer el riesgo que los elementos potencialmente contaminantes de un lugar determinado tienen para los sujetos de protección, las que pueden ser poblaciones humanas, ecosistemas u otros recursos. Para este caso se evaluará el riesgo para la población.

#### **2.3.2.1. Selección de los Factores de Exposición**

Para evaluar el uso del suelo, se consideraron los posibles escenarios que se le puede dar a futuro a este sitio. Luego se definieron las diferentes vías de exposición a la que puede estar expuesta la población humana circundante, mediante los diferentes usos del suelo. De esta forma se utilizaron las concentraciones actuales obtenidas mediante los análisis para

evaluar una exposición futura, en donde se definen los potenciales riesgos a la salud humana por el uso del suelo.

Los posibles usos del suelo son de uso industrial, uso residencial, uso recreacional y agrícola.

**Tabla 3** Selección de los factores de exposición

Vía de Exposición	Uso de suelo			
	Residencial	Industrial	Recreacional	Agrícola
Ingestión Accidental	SI	SI	SI	SI
Inhalación	SI	SI	SI	SI
Contacto Dérmico	SI	SI	SI	SI
Ingestión de Vegetales	NO	NO	NO	SI
Ingestión de Carnes	NO	NO	NO	SI
Ingestión de Leche	NO	NO	NO	SI

**Ingesta Accidental:** la ingesta accidental puede ser producto de la volatilización del material que se encuentra en el sitio, llegando a ser ingerido por los habitantes cercanos al SPPC. También puede haber ingesta debido a que el sitio no se encuentra cerrado, por lo que el acceso es sin restricciones, pudiendo entrar niños y adultos al lugar sin las condiciones de seguridad adecuadas. A continuación se presenta la ecuación y la tabla con los parámetros utilizados para la evaluación por Ingesta Accidental:

$$Dosis = \frac{C_{suelo} \times AF \times FI \times ED \times Fm_{niño/adulto} \times CF1}{BW_{niño/adulto} \times AT \times CF2} \quad (Ec 3)$$

**Tabla 4** Variables para exposición a suelos por Ingesta Accidental en uso residencial

<b>Ingesta Accidental</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Residencial</b>
Concentración de Suelo $C_{suelo}$	mg/kg	Cu=4398 As=910,7 Cd=3,38
Factor de Conversión CF1	kg/mg	1,00E-06
Frecuencia de Exposición FE	días/años	350 (U.S, E.P.A, 1989a)
Fracción de ingesta de fuente contaminada FI	Adimensional	Sitio Especifico, en ausencia de información, FI = 1
Tasa de Ingesta de Suelo IR	mg/día	100 adulto ; 200 niños (U.S, EPA, 1991b)
Peso corporal BW	kg/mg	70 adulto ; 15 niños (U.S, EPA, 1991b)
Factor de Conversión CF2	días/años	365
Duración de Exposición ED	años	24 adulto; 6 niño
Periodo Vital LT	años	70 (U.S, EPA, 1989a)
Tiempo de Promediación AT	años	LT (cancerígeno) ED (no cancerígeno)

**Contacto Dérmico:** el contacto dérmico se puede dar producto el contacto directo con el material pulverizado. A continuación se presenta la ecuación y la tabla con los parámetros utilizados para la evaluación por Contacto Dérmico:

$$Dosis = \frac{C_{suelo} \times CF4 \times SA \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT \times CF2} \quad (Ec 4)$$

**Tabla 5** Variables para exposición a suelos por Contacto Dérmico en uso residencial

<b>Contacto Dérmico</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Residencial</b>
Concentración de Suelo <i>C<sub>suelo</sub></i>	mg/kg	Cu=4398 As=910,7 Cd=3,38
Factor de Conversión CF4	(kg x cm <sup>2</sup> )/(día x m <sup>2</sup> )	1,00E-02
Superficie expuesta de piel SA	m <sup>2</sup> /día	0,53 (manos , antebrazos, cabeza y piernas. U.S, EPA, 1992)
Factor de Absorción Dérmica ABS	Adimensional	Cu = 0,001** As =0,03* Cd = 0,001*
Duración de Exposición ED	años	30 (U.S, EPA, 1989a)
Peso corporal BW	kg/mg	70 adulto (U.S, EPA, 1991b)
Factor de Conversión CF2	días/años	365
Frecuencia de la Exposición EF	días/años	350
Periodo Vital LT	años	70 (U.S, EPA, 1989a)
Tiempo de Promediación AT	años	LT (cancerígeno) ED (no cancerígeno)
Factor de adherencia del suelo a la piel AF	mg/cm <sup>2</sup>	1 (U.S, EPA 1992)

### 2.3.3. Caracterización del Riesgo

Con la información obtenida con el cálculo estimativo de las dosis de ingesta accidental y de contacto dérmico, se obtuvo la información sobre los diferentes tipos de efectos adversos a la salud que aquellas sustancias podrían provocar (cancerígenos y no cancerígenos)



**Efecto No-Cancerígeno:** se cree que los analitos son inocuos a dosis bajas, es decir pueden metabolizarse y extractarse de forma eficiente, donde existe un rango que va desde 0 hasta un valor definido, en el que no se presentan efectos tóxicos no cancerígenos en el organismo. De esta forma, el límite superior del rango de tolerancia para poblaciones sensibles, es el valor importante para estos casos, ya que bajo esa concentración, no se manifiesta algún daño al organismo.

Para la evaluación de riesgo crónico no cancerígeno, se calculó el Cociente de Peligro HQ (Hazard Quocient) con MRL o RfD:

$$HQ = \frac{Dosis}{MRL \text{ o } RfD} \quad (\text{Ec } 5)$$

Luego se calculó el Índice de Peligro HI (hazard Index), como la sumatoria de los peligros individuales:

$$HI = HQ_{ia} + HQ_{cd} \quad (\text{Ec } 6)$$

Si  $HI > 1$  se considera que el sitio puede presentar efectos adversos umbrales (no cancerígenos, tóxicos). Se debe considerar las contribuciones de cada sustancia por separado y se suma el cociente de riesgo para cada vía de exposición, en este caso ingesta accidental y contacto dérmico.

**Efecto Cancerígeno:** el concepto de tolerancia no se considera adecuado, debido a que un número reducido de eventos a nivel molecular puede producir alteraciones a nivel celular, provocando una proliferación descontrolada llegando a un estado clínico de enfermedad.

Para evaluar el riesgo cancerígeno, se estimó el riesgo como el incremento en la probabilidad de que un individuo desarrolle el efecto de alteración a nivel celular durante su periodo vital debido a la exposición de un agente cancerígeno.

Se utilizó la siguiente fórmula para la obtención de los valores de Riesgo Extra de Cáncer de por Vida (ELCR, por sus siglas en inglés, Excess Lifetime Cancer Risk ).

$$\text{ELCR} = \text{Dosis} \times \text{FPC} \quad (\text{ec } 7)$$

- FPC<sub>O</sub>: Factor de Pendiente Cancerígena Oral: pendiente del 95% UCL de la regresión lineal de la respuesta cancerígena a dosis bajas.  $As = 1,5 \text{ (mg/kg día)}^{-1}$ .
- FPC<sub>D</sub>: Factor de Pendiente Cancerígena Dérmico: se utiliza corregido por absorción dérmica. Para este caso el de Arsénico,  $1,5 \text{ (mg/kg día)}^{-1} \times 0,3 = 0,045 \text{ (mg/kg día)}^{-1}$ .

Luego se calculó el ELCR total, como la sumatoria de los peligros individuales:

$$\text{ELCR total} = \text{ELCRd} + \text{ELCRo} \quad (\text{ec } 8)$$

Dependiendo de cada país, se utilizan valores de referencia para un nivel de riesgo inaceptable por sobre  $1 \times 10^{-4}$ , hasta  $1 \times 10^{-6}$ . Como no existe norma en Chile sobre esto, es que utilizará  $1 \times 10^{-4}$  como el nivel biológicamente significativo e inaceptable.

### **III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Investigación Preliminar.**

##### **3.1.1. Descripción del Sitio Carlos Martínez y Caleta el Hueso**

El sitio SPPC-334 Se encuentra ubicado en el acceso norte de Taltal, en el borde costero. Es un sitio en donde antiguamente se desarrollaban actividades artesanales de extracción de oro y plata. La principal actividad en este sitio fue la extracción de oro. Durante un largo periodo, la amalgamación con mercurio fue el método más utilizado para su extracción.

Colindante al Sitio SPPC-334 se encuentra un complejo turístico, llamado “Cabañas Caleta el Hueso”, construidas sobre un relave minero, reconvertido para dar un uso turístico y recreacional al lugar. A 600 metros del acceso norte de la ciudad de Taltal, se encuentra el sitio, ubicado en un área urbana, cuya población alcanza los 11.100 habitantes según el censo de 2002.

##### **3.1.2. Actividades mineras desarrolladas en el sitio SPPC-334.**

En el sitio SPP-334 se puede encontrar la antigua infraestructura vinculada a las actividades mineras artesanales,

- industria abandonada con 7 trapiches antiguos,
- piscinas probablemente de amalgamación y
- 2 acopios de material residual de partícula fina rojiza proveniente de la minería de oro.

Estas instalaciones podrían contener contaminantes asociados a la extracción artesanal de oro y plata (metales, metaloides, sales inorgánicas y mercurio).

### **3.1.3. Entorno Actual del Sitio**

Se encontró que en el sector de Caleta El Hueso existe actividad turística, puesto que se observa recinto turístico, deportivo, recreacional “Cabañas Caleta El Hueso”, construido sobre suelo donde se ha efectuado proceso de remediación, junto al que se encuentra el “Trapiches Carlos Martínez y Caleta el Hueso.

### **3.1.4. Estudio Histórico**

Se realizó la recopilación de la información de la actividad histórica relevante del sitio, tomando en consideración los siguientes aspectos:

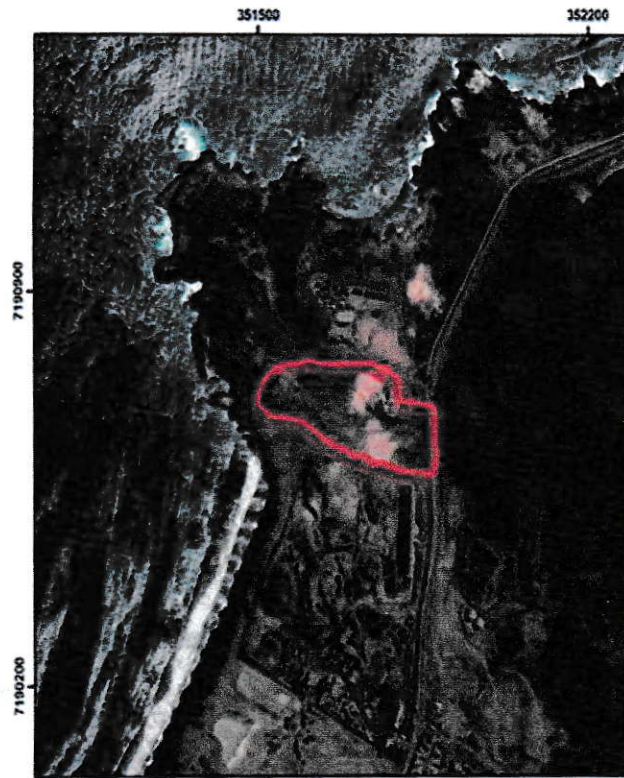
- **Historial cronológico del terreno:** Esta zona se ha caracterizado a lo largo de su historio por la gran actividad minera, razón por la cual a lo largo del tiempo se han producido acopios de residuos mineros, trapiches y piscinas en línea, los que podrían contener diferente clase de elementos nocivos tanto para la población como para el medio ambiente.
- **Uso del Suelo y procesos productivos relevantes:** La actividad que predomina en el territorio es la extracción de cobre realizada por ENAMI. Actualmente el sitio se encuentra dentro de una zona de la localidad de Taltal que se clasifica de las siguientes maneras:
  - o Zona de Interés Productivo
  - o Zona de Riesgo por Inundación

o Zona de Equipamiento de Esparcimiento y Turismo

- **Plano del Sitio:** Las coordenadas en UTM Datum WGS84 son 7190685 N ; 351706 E. A continuación se presenta una imagen satelital del sitio
- **Sistemas de protección medioambiental:** No se observa sistemas de protección en el sitio, no existen resguardos para el acceso ni para el contacto con los elementos e instalaciones del sitio.
- **Puntos de vertido:** Se observaron 2 puntos de vertido en donde se formaron acopios sobre el nivel del suelo, compuesto por un polvo fino rojizo en el sector de la molienda del mineral. Además se encontraron piscinas de lixiviación en altura con residuos de relaves. Se pueden observar unos canales que van en la dirección a la ladera del roquerío, lo que hace sospechar de la descarga de residuos al mar.
- **Antecedentes de incidentes ambientales:** No existen antecedentes de incidentes ambientales.

### **3.1.5. Estudio Geográfico**

Se obtuvo la ubicación exacta del SPPC-334 a través de mapas a una escala adecuada, indicando la localización de las diferentes instalaciones. Se utilizó imágenes satelitales para una mejor visualización de los límites del sitio. Con las imágenes satelitales se delimitó el sitio, que abarca una superficie de 5,3 hectáreas

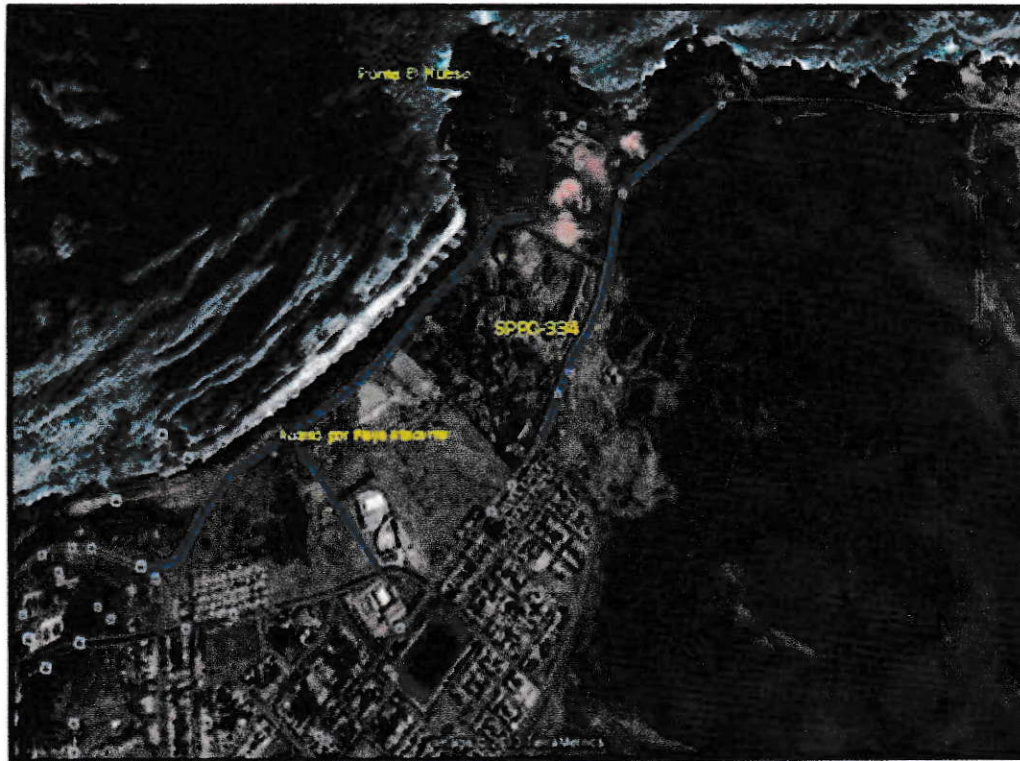


**Figura 3 Delimitación SPPC-334**

### **3.1.6. Estudio del Medio Físico**

Se identificaron las características del medio físico más relevantes, entre las que destacaron:

- **Topografía y accesos:** Es posible acceder con vehículos o de forma peatonal por la ruta 1 Norte, desde el norte, y desde Taltal por Av. Matta hasta llegar al cruce Caleta el Hueso. Por Playa Atacama es posible ingresar a través de caminos no pavimentados.



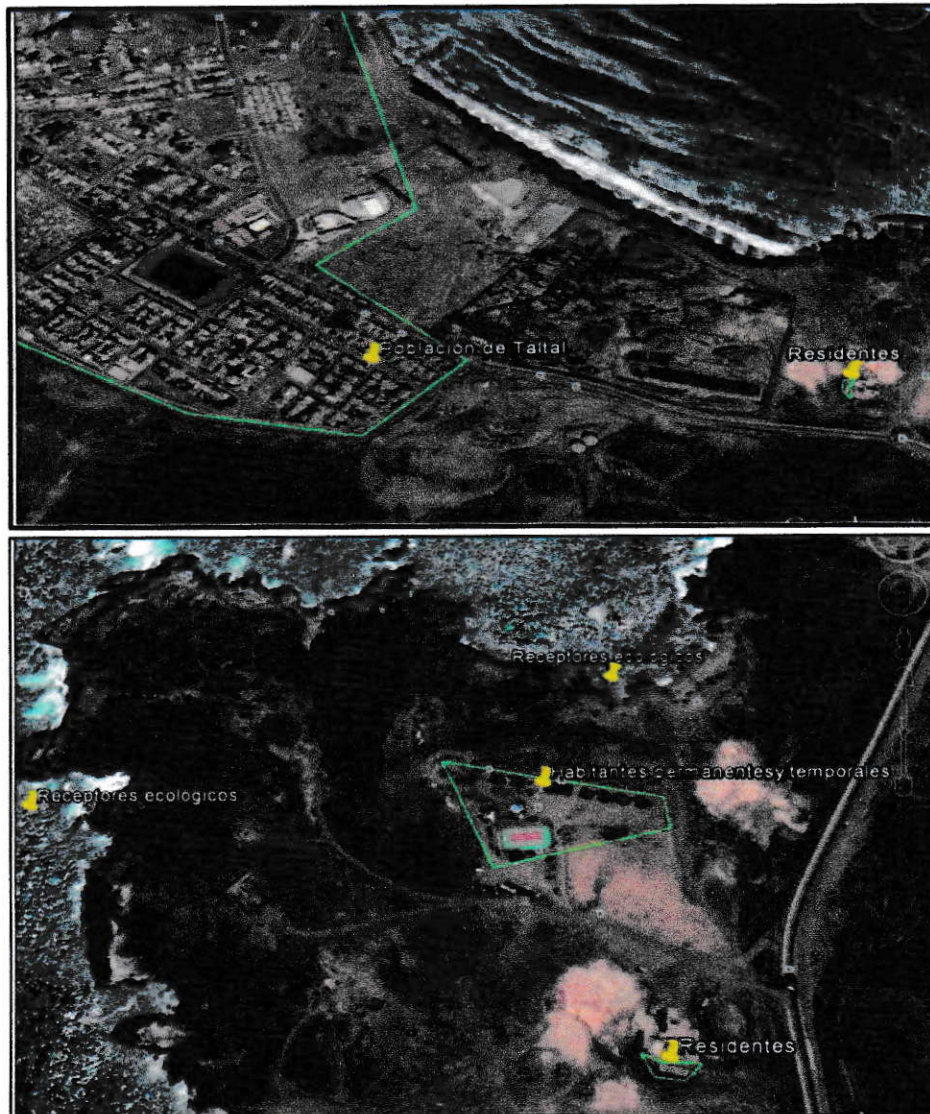
**Figura 4 Accesos al SPPC-334**

- **Climatología Local:** El clima que se presenta en Taltal es desértico costero con abundante nubosidad. La característica de este clima es el de bajas temperaturas y homogéneas, con una amplitud térmica diaria y anual pequeña, producto de la estabilización del mar. Las lluvias son escasas durante el invierno y es seco en verano. La alta humedad ambiental es debida a la camanchaca.
- **Relación entre las aguas subterráneas y aguas superficiales:** No se encuentra cursos de agua superficial ni tampoco extracción de agua subterránea en el sitio, sin embargo se encuentra muy cerca del mar.
- **Identificación de tomas de aguas:** No existen tomas de aguas para agua potable en el sitio.

### **3.1.7. Estudio de los Receptores**

- **Localización de receptores:** Existen receptores humanos pertenecientes a una población flotante, que integran un grupo familiar, que declara ser cuidadores del recinto. A 660 metros hacia el sur, comienza la zona urbana de Taltal con una población de 11.000 habitantes. Además, aledaño al sitio, se encuentran tanto los trabajadores como los huéspedes de las cabañas turísticas.

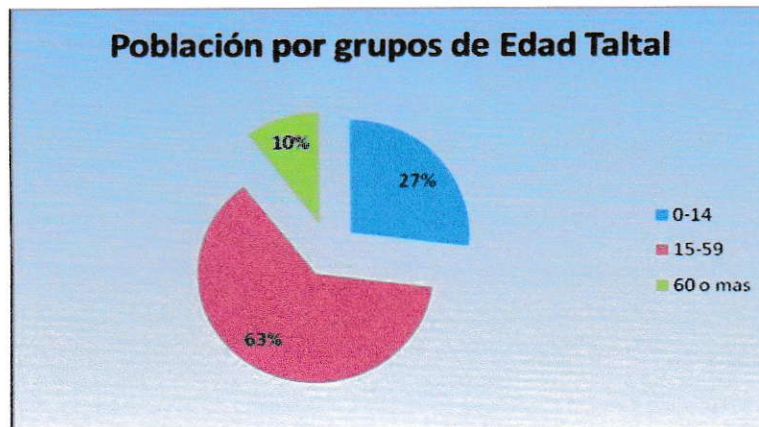




**Figura 5** Receptores humanos cecanos al SPPC-334

- **Presencia de sub-poblaciones sensibles:** Las sub-poblaciones más sensibles corresponden a los niños y los ancianos, lo que representan un 37% de la población.





**Figura 6** Población por Grupos de edad de Taltal (“Diagnostico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes”, CENMA)

- **Patrones de actividad de los receptores:** La familia conformada por 5 personas, viven en el sitio, cuidando el recinto. En las cabañas los trabajadores permanecen ahí atendiendo a los huéspedes temporales.

### 3.1.8. Análisis de la información y desarrollo del Modelo Conceptual

Para que exista una ruta de exposición, tienen que estar las condiciones, es decir, se necesita (i) un mecanismo de transporte conocido o probable, por el cual el contaminante pueda ser desplazado hacia un receptor y (ii) una vía de exposición para que el contaminante entre en contacto con el receptor.

La elaboración del modelo conceptual (Figura 6) fue cuidadosa, ya que las conclusiones que se entregan de los siguientes análisis, dependen de la representatividad del modelo conceptual.

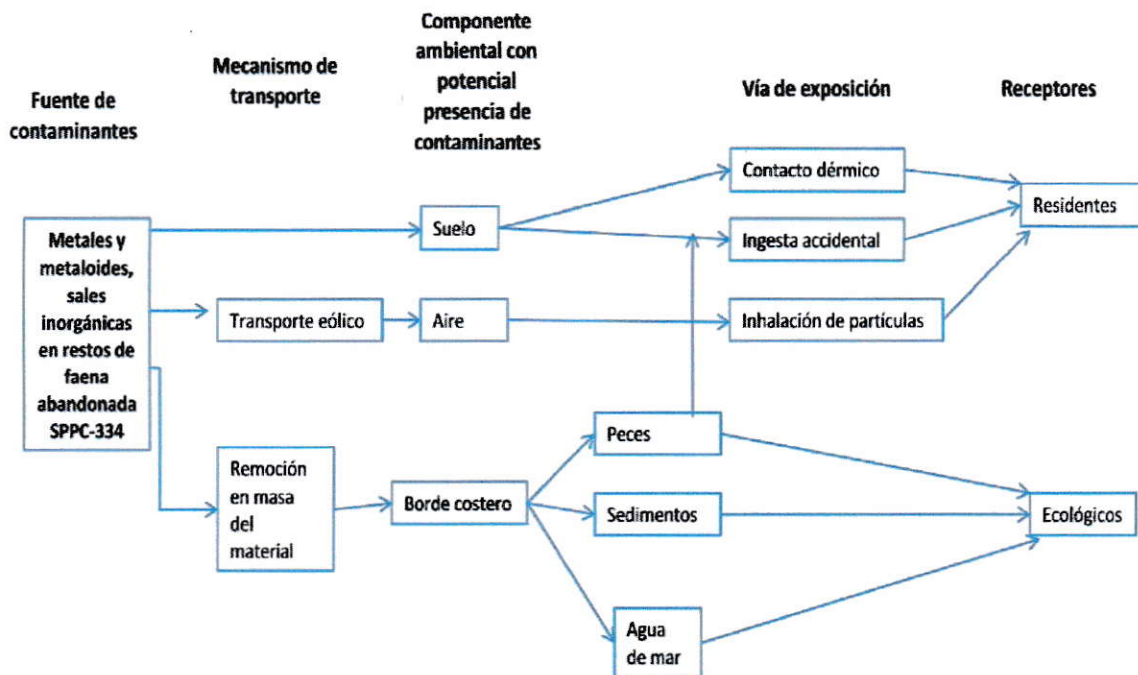


Figura 7 Modelo Conceptual (expediente SPPC-334, CENMA)

### 3.2. Investigación Confirmatoria

Se consideró que el sitio en estudio, puede ser utilizado a futuro para

- **uso residencial**, al encontrarse a 600 metros de la población de Taltal,
- **uso industrial**, por la ya conocida actividad minera en la zona y por los trabajos que realiza la ENAMI en las cercanías al sitio
- **uso recreacional**, tomando en consideración el complejo turístico Cabañas Caleta el Hueso que se encuentra en las cercanías. Por esta razón se realizará una evaluación de la exposición por la ingesta accidental y por contacto dérmico.

No se tomó en consideración la exposición por inhalación, por falta de información sobre la contaminación atmosférica, ya que no existen estaciones de monitoreo en el sector,

y dentro del proyecto en el que se enmarca esta investigación, no está considerado en análisis a muestras de aire.

Luego de analizar la información obtenida en la investigación preliminar se realizó el plan de muestreo del SPPC-334, con el fin de confirmar la presencia de contaminantes en el sitio. Luego de obtener las muestras se realizaron los análisis químicos en el Laboratorio de Química del CENMA. A continuación se presentan las concentraciones y las diferentes evaluaciones realizadas durante la investigación confirmatoria a las muestras de suelo.

### **3.3. Concentración de Metales Totales**

Para determinar la concentración de metales totales, se utilizó el ICP-OES, excepto para el mercurio (Tabla 6).

Se realizó el análisis estadístico de la concentración de metales totales para comparar con normas internacionales y con valor base de la Región de Antofagasta. En la Tabla 7 se presenta las variables estadísticas para cada metal analizado, obteniendo el mínimo, el máximo, el promedio, la desviación estándar, la mediana y el 95% UCL y su distribución estadística que más se ajusta a los datos.

Ag, Mo, Be, y Se no fueron considerados para el análisis estadístico debido a que la mayoría de las concentraciones dieron bajo el límite de detección. ..

**Tabla 6 Concentración metales totales (mg/kg)**

Muestra	Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al	Se	Mn
334-1	<1,82	46,08	13,69	2334,36	8795,65	21,28	79,92	4488,63	<2,29	525,84
334-2	4,06	49,18	20,47	80,04	6125,40	67,43	39,73	4918,26	<2,29	190,79
334-3	2,48	161,67	7,92	76,82	470,01	14,52	232,51	1044,74	<2,29	835,49
334-4	<1,82	19,87	12,15	347,97	199,37	2,54	114,83	857,87	<2,29	24,93
334-5	4102	142,02	11,67	57,68	1026,95	11,14	68,81	6072,85	<2,29	1375,75
334-6	<1,82	43,59	7,93	368,79	1145,02	8,56	17,97	2401,76	<2,29	208,71
334-7	1,97	39,34	14,27	376,37	579,57	5,59	185,57	2634,93	<2,29	166,50
334-8	2,17	52,94	9,09	160,06	137,68	5,90	75,46	3868,86	<2,29	541,85
334-9	<1,82	20,18	8,19	218,34	102,98	2,34	29,56	216,20	<2,29	54,17
334-10	2,20	92,33	13,90	446,24	243,26	6,25	92,73	2273,18	<2,29	389,79
334-11	<1,82	23,92	16,34	652,69	217,51	3,05	152,59	547,41	<2,29	32,10
334-12	<1,82	7,75	5,00	346,52	103,08	3,21	<3,67	207,66	<2,29	12,82
Muestra	Ag	V	Ba	Co	Mo	Be	B	Fe	Hg	pH
334-1	<1,73	95,79	30,12	100,38	<8,3	<1,65	190,88	22520,45	0,333	2,43
334-2	<1,73	86,42	20,59	128,89	31,39	<1,65	1148,82	57416,27	0,222	5,23
334-3	<1,73	91,12	56,5	22,83	<8,3	<1,65	164,66	20675,57	0,323	7,03
334-4	<1,73	36,65	1229,86	3,67	<8,3	<1,65	65,5	10881,24	7,791	6,29
334-5	<1,73	110,78	106,09	23,76	<8,3	<1,65	224,9	26412,18	0,163	7,42
334-6	<1,73	44,7	57,1	47,57	<8,3	<1,65	105,68	15684,22	3,608	6,38
334-7	<1,73	66,82	1451,9	9,62	<8,3	<1,65	151,51	23919,54	5,168	7,27
334-8	<1,73	76,01	2833,6	9,3	<8,3	<1,65	134,44	23556,73	1,95	6,77
334-9	<1,73	25,32	103,58	4,57	<8,3	<1,65	62,77	10666	4,66	6,97
334-10	<1,73	68,2	780,38	13,76	<8,3	<1,65	140,89	21742,61	4,856	6,73
334-11	5,03	44,32	1569,36	4,53	<8,3	<1,65	78,84	9121,76	8,466	6,39
334-12	1,78	15,13	142,74	<2,44	<8,3	<1,65	27,85	4055,72	3,429	6,77

**Tabla 7 Análisis estadístico de Metales Totales**

	Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al
N° Puntos	6,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	11,00	12,00
Mínimo	1,97	7,75	5,00	57,68	102,98	2,34	17,97	207,70
Máximo	4,10	161,70	20,47	2334,36	8795,65	67,43	232,51	6073,00
Promedio	2,83	58,24	11,72	455,50	1596,00	12,65	99,06	2461,00
SD	0,98	48,95	4,33	617,40	2819,00	18,15	67,24	1991,00
Mediana	2,34	44,84	11,91	347,20	356,60	6,08	79,92	2337,00
95% UCL	3,38	99,93	13,96	910,70	4398,00	25,59	135,80	3493,00
Distribución	Chebysheb	Gamma	Student-t	Gamma	Gamma	Gamma	Student-t	Student-t
	Mn	V	Ba	Co	B	Fe	Hg	pH
N° Puntos	12,00	12,00	12,00	11,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Mínimo	12,82	15,13	20,59	3,67	27,85	4056,00	0,16	2,43
Máximo	1376,00	110,80	2834,00	128,90	1149,00	57416,00	8,47	7,42
Promedio	363,20	63,44	698,50	33,53	208,10	20554,00	3,42	6,31
SD	409,20	30,14	900,40	42,53	301,80	13607,00	2,91	1,35
Mediana	199,80	67,51	124,40	13,76	137,70	21209,00	3,52	6,75
95% UCL	575,40	79,07	1899,00	78,50	409,90	27609,00	4,93	7,005
Distribución	Student-t	Student-t	Gamma	Gamma	H	Student-t	Student-t	Student-t

### 3.4.Comparación muestras Valor Base con Metales Totales

Las concentraciones de metales de muestras Valor Base obtenidas en toda la región, son sometidas al análisis estadístico mediante Pro UCL 5.0 para obtener un promedio como nivel basal, y compararlas con el promedio y el 95% UCL del análisis estadístico de metales totales.

**Tabla 8** Comparación muestras Valor Base con Metales Totales (mg/kg)

	<b>Cd</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>As</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Al</b>
<b>Promedio</b>	1,24	75,88	31,84	21,67	91,61	41,69	12,74	3898,22
<b>Background</b>								
<b>95% UCL</b>	3,38	99,93	13,96	910,70	4398,00	25,59	135,80	3493,00
<b>Promedio</b>	2,83	58,24	11,72	455,50	1596,00	12,65	99,06	2461,00
	<b>Mn</b>	<b>V</b>	<b>Ba</b>	<b>Co</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Hg</b>	<b>pH</b>
<b>Promedio</b>	561,43	112,45	101,65	18,19	103,91	19514,46	0,03	7,06
<b>Background</b>								
<b>95% UCL</b>	575,40	79,07	1899,00	78,50	409,90	27609,00	4,93	7,01
<b>Promedio</b>	363,20	63,44	698,50	33,53	208,10	20554,00	3,42	6,31

Los valores de Cd, Zn, As, Cu, Pb, Mn, Ba, Co, B, Fe y Hg son mayores que los encontrados en las muestras de valor base a nivel regional, utilizados como valores de referencia. Para el caso del Hg y el As, estos 2 elementos superan los niveles de valor base en más de 100 y 20 veces el valor, respectivamente. Aun así, esto no constituye evidencia de riesgo, pero indica que este sitio debería ser investigado mediante evaluación de riesgo.

### 3.5.Concentración de Metales Lixiviados mediante SPLP

Mediante la extracción con ácidos débiles, se simula la lluvia acida producida por emanaciones gaseosas provenientes de diferentes proceso industriales y/o mineros. De esta forma se simula la cantidad del metal que lixiviaría mediante una lluvia con estas características sobre el SPPC-334 (Tabla 9).

**Tabla 9.** Concentración Metales Lixiviados (mg/kg)

Muestra	Ba (mg/Kg)	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)
334-1	<1,22	12,71	319,84	12,11	1,96	0,09
334-2	<1,22	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	<0,0034
334-3	<1,22	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	<0,0034
334-4	<1,22	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,03
334-5	2,92	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,00
334-6	<1,22	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,03
334-7	<1,22	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,14
334-8	2,55	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,01
334-9	2,54	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,02
334-10	3,43	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,13
334-11	<1,22	<1,08	<3,3	<1,38	<1,24	0,08
334-12	2,98	<1,08	5,92	<1,38	<1,24	0,02

Se puede observar que la concentración de As lixiviado es mayor en la muestra 334-1 en comparación con los otros elementos y en las diferentes muestras, por lo que bajo condiciones de lluvia acida, el As puede pasar a las aguas subterráneas o pasar hacia el mar, ya que este se encuentra cercano.

La concentración de metal lixiviado se puede comparar con la de los metales totales para visualizar el porcentaje lixiviado mediante la simulación de lluvia acida (Tabla 10).

**Tabla 10** Porcentaje de Metales Lixiviados mediante SPLP (mg/kg)

Muestra	SPLP	Total	% Lixiviado	SPLP	Total	% Lixiviado	SPLP	Total	% Lixiviado
	Hg (mg/kg)	Hg (mg/kg)	SPLP	Ba (mg/Kg)	Ba (mg/kg)	SPLP	As (mg/kg)	As (mg/kg)	SPLP
334-1	0,09	0,33	28,10	<LD	30,12	0,00	319,84	2334,36	13,70
334-2	<LD	0,22	0,00	<LD	20,59	0,00	<LD	80,04	0,00
334-3	<LD	0,32	0,00	<LD	56,50	0,00	<LD	76,82	0,00
334-4	0,03	7791,00	0,00	<LD	1229,86	0,00	<LD	347,97	0,00
334-5	0,00	0,16	2,10	2,92	106,09	2,75	<LD	57,68	0,00
334-6	0,03	3608,00	0,00	<LD	57,10	0,00	<LD	368,79	0,00
334-7	0,14	5168,00	0,00	<LD	1451,90	0,00	<LD	376,37	0,00
334-8	0,01	1950,00	0,00	2,55	2833,60	0,09	<LD	160,06	0,00
334-9	0,02	4660,00	0,00	2,54	103,58	2,46	<LD	218,34	0,00
334-10	0,13	4856,00	0,00	3,43	780,38	0,44	<LD	446,24	0,00
334-11	0,08	8466,00	0,00	<LD	1569,36	0,00	<LD	652,69	0,00
334-12	0,02	3429,00	0,00	2,98	142,74	2,09	5,92	346,52	1,71
Muestra	SPLP	Total	% Lixiviado	SPLP	Total	% Lixiviado	SPLP	Total	% Lixiviado
	Pb (mg/kg)	Pb (mg/kg)	SPLP	Cr (mg/kg)	Cr (mg/kg)	SPLP	Cd (mg/kg)	Cd (mg/kg)	SPLP
334-1	12,713425	79,92	15,90768895	12,1102187	13,69	88,46	1,96	<LD	...
334-2	<LD	39,73	0	<LD	20,47	0,00	<LD	4,06	0,00
334-3	<LD	232,51	0	<LD	7,92	0,00	<LD	2,48	0,00
334-4	<LD	114,83	0	<LD	12,15	0,00	<LD	<LD	0,00
334-5	<LD	68,81	0	<LD	11,67	0,00	<LD	4102,00	0,00
334-6	<LD	17,97	0	<LD	7,93	0,00	<LD	<LD	0,00
334-7	<LD	185,57	0	<LD	14,27	0,00	<LD	1,97	0,00
334-8	<LD	75,46	0	<LD	9,09	0,00	<LD	2,17	0,00
334-9	<LD	29,56	0	<LD	8,19	0,00	<LD	<LD	0,00
334-10	<LD	92,73	0	<LD	13,90	0,00	<LD	2,20	0,00
334-11	<LD	152,59	0	<LD	16,34	0,00	<LD	<LD	0,00
334-12	<LD	<LD	0	<LD	5,00	0,00	<LD	<LD	0,00

De los 6 elementos analizados mediante SPLP, la muestra 334-1 muestra lixiviación de 4 elementos. Se puede ver que el Arsénico lixivio en un 13.70%, lo cual si representa evidencia de riesgo para la salud de las personas, ya que supera las normas internacionales, como se muestra a continuación (Tabla 11), sin embargo las otras muestras tienen un porcentaje de lixiviación bajo, de los cuales ninguno supera las normas internacionales. Es por esto que se le pone especial atención al arsénico en los otros análisis.



**Tabla 11.** Comparación As lixiviado con normas internacionales (mg/kg)

<b>País/Muestra</b>	<b>As</b>
Canada	12
Australia	100
Brazil	15
Pais Vasco	30
Mexico	22
334-1	319,84

### 3.6.Comparación con Normas Internacionales

Las normas utilizadas para comparar el promedio y el 95% UCL obtenido para las concentraciones de metales totales fueron las de Canadá, Australia, Brasil, Comunidad Autónoma del País Vasco y México. A continuación (Tabla 12) se presentan las comparaciones:

**Tabla 12.** Comparación con normas Internacionales (mg/kg)

<b>Metal</b>	<b>Canadá</b>	<b>Australia</b>	<b>Brasil</b>	<b>Pais Vasco</b>	<b>México</b>	<b>Promedio (mg/kg)</b>	<b>95% proUCL (mg/kg)</b>
<b>Cd</b>	10	20	1,3	8	37	2,83	3,382
<b>Zn</b>	200	7000	300	-	-	58,24	99,93
<b>Cr</b>	64	100	75	200	280	11,72	13,96
<b>As</b>	12	100	15	30	22	455,5	910,7
<b>Cu</b>	63	1000	60	-	-	1596	4398
<b>Ni</b>	50	600	30	150	1600	12,65	25,59
<b>Pb</b>	140	300	72	150	400	99,06	135,8
<b>Mn</b>	-	1500	-	-	-	363,2	575,4
<b>V</b>	130	550	-	-	78	63,44	79,07
<b>Ba</b>	500	15000	150	-	5400	698,5	1899
<b>Co</b>	50	100	25	-	-	33,53	78,5
<b>B</b>	-	3000	-	-	-	208,1	409,9
<b>Hg</b>	6,6	15	0,5	4	23	3,415	4,926

En esta tabla se puede apreciar, que los elementos que superan la norma son los siguientes (tomando en cuenta que las casillas en amarillo superan el promedio y el 95% UCL, y la casilla en gris, supera solamente el 95% a las normas de referencia):

- Cd: Supera la norma de Brasil
- As: Supera la normas de Canadá, Australia, Brasil, Comunidad Autónoma del País Vasco y México.
- Cu: Supera la normas de Canadá, Australia y Brasil.
- Pb: Supera la norma de Brasil.
- V: Supera la norma de México.
- Ba: Supera la norma de Canadá y Brasil.
- Co: Supera la norma de Brasil.
- Hg: Supera la norma de Brasil y la Comunidad Autónoma del País Vasco

### **3.7.Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales (EMEG)**

Los Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales no son una norma ambiental, pero podemos obtener una referencia para definir los contaminantes críticos para la salud en los SPPC.

Primero se calculan los EMEG para infantes, niños y adultos para compararlos con los valores máximos de concentración para cada contaminante, para así definir cuales pasan a un análisis toxicológico. En Tabla 13 se presentan los EMEG y se comparan con los máximos obtenidos en metales totales obteniéndose que:

- Los valores máximos para Cd, As y Cu superan los EMEG para infantes (1 a 2 años) y para niños(3 a 6 años).
- El valor máximo para As supera el valor EMEG para adultos.

Estos resultados indican que es preciso realizar el análisis toxicológico a Cd, As y Cu.

**Tabla 13.** Comparación Valores EMEG para infantes, niños y adultos con respecto al valor máximo para cada metal.

Metal	Dosis de referencia (mg/kg/día)	Valor Maximo (mg/kg)	EMEG Infante (mg/kg)	Supera	EMEG Niños (mg/kg)	Supera	EMEG Adulto (mg/kg)	Supera
Cd	0,0001	4,10	2,857	Si	4	Si	140	No
Zn	0,3	161,70	8571,428	No	12000	No	420000	No
Cr	0.0009	20,47	25,714	No	36	No	1260	No
As	0,0003	2334,36	8,571	Si	12	Si	420	Si
Cu	0,01	8795,65	285,714	Si	400	Si	14000	No
Ni	0,02	67,43	571,428	No	800	No	28000	No
Pb	...	232,51	250 Recomendado para suelo en áreas de recreacion infantil (No Supera)					
Al	1	6073,00	28571,428	No	40000	No	1400000	No
Mn	0,16	1376,00	4571,428	No	6400	No	224000	No
V	0,01	110,80	285,714	No	400	No	14000	No
Ba	0,2	2834,00	5714,285	No	8000	No	280000	No
Co	0,01	128,90	285,714	No	400	No	14000	No
B	0,2	1149,00	5714,285	No	8000	No	280000	No
Hg	0,002	8,47	57,142	No	80	No	2800	No

### 3.8. Selección de los Factores de Exposición

Se realizara una evaluación de la exposición por la ingesta accidental y por contacto dérmico. No se toma en consideración la exposición por inhalación, debido a la falta de información sobre la contaminación atmosférica y dentro del proyecto en el que se enmarca esta investigación, no está considerado en análisis a muestras de aire.

#### 3.8.1. Ingesta Accidental

Con la **ec. (3)** y los valores de los parámetros de la **tabla 4** se puede obtener la estimación de la Dosis Ingerida de forma accidental para niños y adultos para evaluación de riesgo Cancerígeno y No-Cancerígeno.

**Tabla 14.** Dosis Ingesta Accidental

Metal	Ingesta Accidental		
	Efecto	Niño	Adulto
Cu	Cancerígeno	4,82E-03	2,06E-03
	No Cancerígeno	1,12E-02	4,82E-03
As	Cancerígeno	9,98E-04	4,28E-04
	No Cancerígeno	2,32E-03	9,98E-04
Cd	Cancerígeno	3,70E-06	1,59E-06
	No Cancerígeno	8,64E-06	3,70E-06

### 3.8.2. Contacto Dérmico

Con la **ec. (4)** y los valores de los parámetros de la **tabla 5** se puede obtener la estimación de la Dosis por Contacto Dérmico para niños y adultos para evaluación de riesgo Cancerígeno y No-Cancerígeno.

**Tabla 15.** Dosis Contacto Dérmico

Metal	Contacto Dérmico		
	Efecto	Niño	Adulto
Cu	Cancerígeno	6,35E-04	1,36E-04
	No Cancerígeno	1,49E-03	3,19E-04
As	Cancerígeno	3,97E-03	8,50E-04
	No Cancerígeno	9,26E-03	1,98E-03
Cd	Cancerígeno	4,90E-07	1,05E-07
	No Cancerígeno	1,15E-06	2,45E-07

### 3.8.3. Evaluación de Riesgo Crónico No Cancerígeno

Con la **ecuación (5 y 6)** y los datos obtenidos luego de estimar la tasa de ingesta accidental y el contacto dérmico con las sustancias, se prosigue a calcular el Índice de

Peligro (HI). Si  $HI > 1$  se considera que el sitio puede presentar efectos adversos umbrales (no cancerígenos, tóxicos)

**Tabla 16** Índice de Peligro No-Cancerígeno

Riesgo	Cu		As		Cd	
	Niño	Adulto	Niño	Adulto	Niño	Adulto
Dosis IA	1,12E-02	4,82E-03	2,32E-03	9,98E-04	8,64E-06	3,70E-06
Dosis CD	1,49E-03	3,19E-04	9,26E-03	1,98E-03	1,15E-06	2,45E-07
HQ IA	1,12E+00	4,82E-01	7,73	3,33E+00	8,64E-02	3,70E-02
HQ CD	0,146	3,19E-02	30,86	6,6	1,15E-02	2,45E-03
HI = HQ <sub>A</sub> + HQ <sub>D</sub>	1,266	5,14E-01	38,5967	9,926	9,79E-02	3,95E-02

- HI Cu niño > 1
- HI As niño y adulto >1

Lo que indica un alto nivel de riesgo para cobre y arsénico, pero por sobre todo de arsénico, debido a que supera en casi 39 y 10 veces a niños y adultos respectivamente.

#### 3.8.4. Evaluación de Riesgo Crónico Cancerígeno

Con la **ec (5 y 6)** y los datos obtenidos luego de estimar la tasa de contacto dérmico, se estima el índice de peligro cancerígeno. Dependiendo de cada país se utiliza valores de referencia para un nivel de riesgo inaceptable por sobre  $1 \times 10^{-4}$ , hasta  $1 \times 10^{-6}$ , Como no existe norma en Chile sobre esto, es que utilizaremos  $1 \times 10^{-4}$  como nivel de biológicamente significativo e inaceptable.



**Tabla 17. Índice de Peligro Cancerígeno**

Riesgo	As	
	Niño	Adulto
Dosis IA	9,98E-04	4,28E-04
Dosis CD	3,97E-03	8,50E-04
ELCR IA	1,49E-03	6,42E-04
ELCR CD	1,79E-04	3,82E-05
ELCR total	1,67E-03	6,80E-04

- ELCR total Niño  $1,67 \times 10^{-3} > 1 \times 10^{-4}$ , Riesgo biológicamente significativo e inaceptable.
- ELCR total Adulto  $6,8 \times 10^{-4} > 1 \times 10^{-4}$ , Riesgo biológicamente significativo e inaceptable.

### 3.9. Resumen de Resultados.

1. **Valores Base v/s Metales Totales:** Cd, Zn, As, Cu, Pb, Mn, Ba, Co, B, Fe y Hg superan los Valores Base de la Región. Los que superan la concentración de los valores base en mayor medida son As y Hg, superando en 20 y 100 veces respectivamente.
2. **SPLP:** Mediante SPLP se puede ver que la gran mayoría de los metales no lixivian bajo las condiciones de simulación de lluvia acida. Los que lixiviaron, lo hicieron en un porcentaje muy bajo con respecto a la concentración de metales totales y en algunas muestras nomas. La muestra 334-1 fue la que más metales lixiviados tuvo, los que fueron Hg, As, Pb, Cr y Cd,. La lixiviación de As fue de 13,70%, lo cual corresponde a una concentración de 2334,36 mg/kg.

3. **Metales v/s Normas Internacionales:** Cd, As, Cu, Pb V, Ba, Co y Hg son los elementos q superan alguna de las normas internacionales con las que se compararon.
4. **Valores Guía para Evaluación de Medios Ambientales:** Al comparar los valores máximos para cada contaminante con los diferentes valores EMEG para infantes, niños y adultos, podemos identificar los elementos que pasan a análisis toxicológico. Para el caso en estudio, el Cd y el Cu superan los valores para infantes y niños, mientras que el As supera el EMEG para infantes, niños y adultos..
5. **Riesgo No-Cancerígeno:** De los 3 metales analizados para evaluar el riesgo crónico no-cancerígeno, el Cu tiene un riesgo inaceptable ( $Cu > 1$ ) para los niños, mientras que el As tiene un riesgo inaceptable para niños y para adultos. De la misma forma se descarta que el Cd signifique un riesgo crónico no-cancerígeno para receptores de tipo niño y adulto.
6. **Riesgo Cancerígeno:** El As es el único que tiene un riesgo cancerígeno, por lo que es el que se analiza mediante la evaluación de riesgo cancerígeno, dando como resultado para niños y para adultos mayor a  $1 \times 10^{-4}$ , que es el valor que se toma como límite para definir un contaminante que represente riesgo crónico cancerígeno. Los valores fueron de  $1,67 \times 10^{-3}$  para niños y de  $6,8 \times 10^{-4}$  para adultos, representando un riesgo biológico significativo e inaceptable.

### **3.10. Plan de Gestión Propuesto**

Debido a que los análisis realizados muestran que existe riesgo cancerígeno para el caso del As y riesgo no cancerígeno para As y Cd se propone las siguientes medidas:

- Aislar el sitio con una pandereta que limite la exposición. Confinar el material contaminado.
- Comunicar a las autoridades locales y a la población afectada.
- Hacer estudios de la condición de salud de la población.
- Hacer seguimiento de la condición de la salud de la población.
- Diseñar un proyecto para remover el material contaminado hasta un lugar de disposición autorizado. Realizar la tramitación ambiental del proyecto en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Cuando el material haya sido removido o remediado, hacer un nuevo estudio de evaluación de riesgos para comprobar la efectividad de las medidas.
- Impulsar Acuerdos de Producción Limpia con otras empresas que operen en el sector.
- Estudiar el potencial efecto negativo y acumulación de los contaminantes en los recursos marinos e impulsar su recuperación si estuvieran afectados.



#### IV. CONCLUSIONES

- Se obtuvo antecedentes de las condiciones ambientales, ubicación, uso de suelo en el SPPC-334 donde las posibles sustancias contaminantes son Arsénico y Mercurio, provenientes de las antiguas faenas mineras que pueden afectar a la población de la comuna de Taltal
- Se determinó las concentraciones de Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Pb, Al, Se, Mn, Ag, V, Ba, Co, Mo, Be, B, Fe y Hg en muestras de suelo del SPPC-334. -Las mayores concentraciones corresponden a As, Cu, Pb, Al, Mn, Ba, B, y Fe. Las menores concentraciones corresponden a Cd, Zn, Cr, Ni, V, Co y Hg.-Los metales Se, Ag, Mo, y Be resultaron no detectables en las muestras estudiadas, por lo que se presume que no se encuentran presentes en la zona de estudio.
- -Se estudió la capacidad para lixiviar de Ba, Pb, As, Cr, Cd y Hg según el protocolo de SPLP. -Los metales no lixiviaron en la mayoría de las muestras, con excepción de la muestra 334-1.- El metal con mayor capacidad de lixiviar en estas muestras fue el arsénico. Las concentraciones lixiviadas corresponden en promedio al 19,14% de las concentraciones totales en las muestras estudiadas.
- La muestra 334-1 está ubicada en el extremo este del sitio, en altura, por donde se encuentra una entrada y salida de los vehículos que extraían el material bruto.
- -Los resultados confirmaron la presencia de Cd, Zn, Cr, As, Cu, Ni, Pb, Al, Mn, V, Ba, Co, B, Fe y Hg como metales contaminantes.

- -Las concentraciones encontradas en el SPPC-334 superan la norma de uso residencial de suelo de Canadá para As, Cu y Ba. Las concentraciones de As y Cu superan la norma de uso residencial de suelo de Australia
- Las concentraciones encontradas en el SPPC-334 superan la norma de uso residencial de suelo del País Vasco para As y Hg
- Las concentraciones encontradas en el SPPC-334 superan la norma de uso residencial de suelo de Brasil para Cd, As, Cu, Pb, Ba, Co y Hg
- Las concentraciones encontradas en el SPPC-334 superan la norma de uso residencial de suelo de México para As y V.
- Se realizó la evaluación de riesgo cancerígeno y no cancerígeno para As, Cu y Cd. encontrándose que Cd y As presentan riesgo significativo no cancerígeno y que la concentración de As presenta un riesgo significativo de tipo cancerígeno.
- Se propone un plan de gestión consistente en 9 acciones a emprender respecto del material contaminado en el sitio, los potenciales afectados y las acciones futuras a emprender.
- Las medidas propuestas incluyen aislar el material, comunicar a los interesados, evaluar la condición de salud de los posibles afectados, diseñar proyectos para remover o remediar el material contaminado, evaluar los niveles de riesgo una vez removido o remediado el material contaminado en el sitio, impulsar acciones de APL en la zona y estudiar la afectación de los recursos marinos. Estas medidas

deben ser evaluadas en su factibilidad económica y técnica para trabajar en su implementación. .

## V. REFERENCIAS

- CENMA, 2013 “Diagnostico Regional de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes”
- Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA), 1992. Aportes del 4to encuentro científico sobre el medio ambiente 1992 Valdivia “Gestión Ambiental en Chile”, Santiago, Chile,
- Conferencia Internacional Sobre Pasivos Ambientales Mineros, Luis Sougarret Seitz, 2008, en: [www.tecnologiaslimpias.cl/chile/docs/LuisSolugarret.pdf](http://www.tecnologiaslimpias.cl/chile/docs/LuisSolugarret.pdf)
- Domènech, Xavier y Peral, José, 2006. Química Ambiental de sistemas terrestres. Barcelona, Editorial Reverté, S.A., pp 119-121
- Expediente 334, ”Diagnostico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes”, Investigación Preliminar y Confirmatoria, CENMA, 2013.
- Fundación Chile “Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes” Junio 2012. pp15-48
- Historia de la Minería en Chile, visitado el 15 de Agosto 2015 en: <https://www.codelcoeduca.cl/minisitios/especial-de-mineria/historiamineria.pdf>
- Secretaria del Medio Ambiente, México, 2006, Políticas Ambientales Territoriales [http://qacontent.edomex.gob.mx/idc/groups/public/documents/edomex\\_archivo/sma\\_pdf\\_defini\\_poli\\_amb\\_terri.pdf](http://qacontent.edomex.gob.mx/idc/groups/public/documents/edomex_archivo/sma_pdf_defini_poli_amb_terri.pdf)
- Manual de Gestión Ambiental, Territorial y Participación Ciudadana para Proyectos de Infraestructura, capítulo 4, 2015

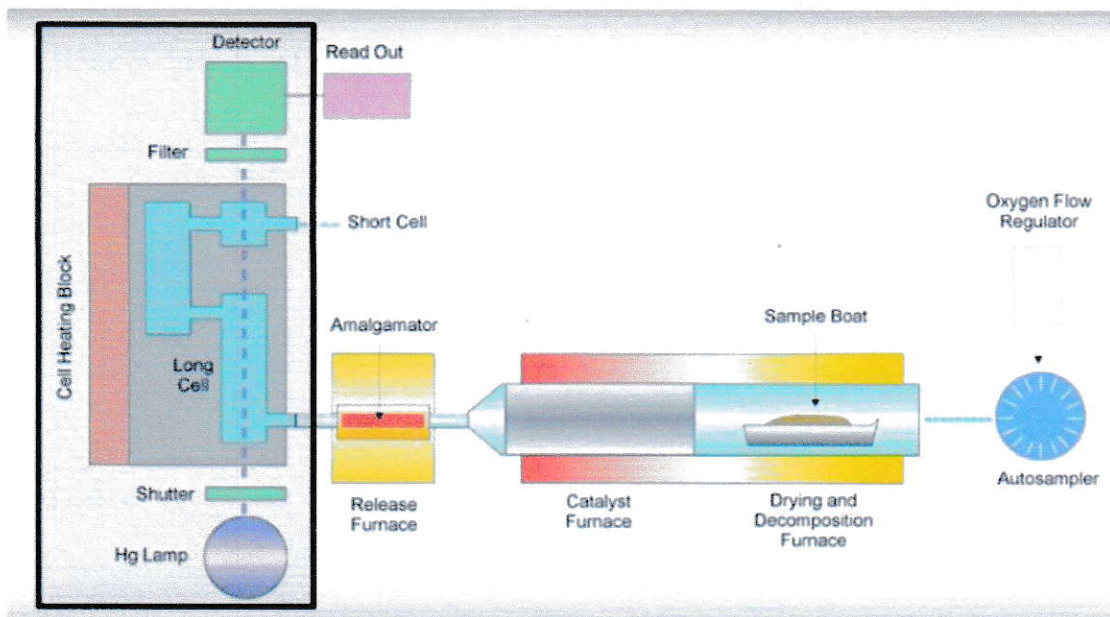
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y la Comisión Económica Para América Latina (CEPAL) “Evaluación de Desempeño Ambiental en Chile”, 2005
- Sánchez, L. E. “Manejo de residuos sólidos en minería” cap. 16 en “II Curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental”, Oficina Regional de Ciencia de la Unesco para América Latina y el Caribe, Oficina de Unesco en Montevideo, 2000. en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001631/163153s.pdf>
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN); Proyecto FOCIGAM JICA-SERNAGEOMIN (2007). Catastro de Faenas Mineras Abandonadas o Paralizadas y Análisis preliminar de riesgo. Actualización 2010.
- Rhim, A. y Anaconda C. 2004. Riesgos Ambientales Asociados a Sitios Contaminados, Informe Final. Proyecto FDI (INTEC-SAG).
- Xiangdeng Hou and Bradley T. Jones. Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry. En: R.A Meyers (Ed). Encyclopedia of Analytical Chemistry, 2000. pp. 9468-9485.
- Yupari, A. “Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica” informe elaborado por CEPAL para el Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR. 2004

## VI. ANEXOS

### 6.1. Determinación de Mercurio Total

El mercuriometro es una técnica relativamente nueva. Se realiza mediante un equipo en el que se combina la descomposición térmica, conversión catalítica, amalgamación y espectrofotometría de absorción atómica.

- La muestra es puesta un bote de cuarzo (50 mg de muestra), el cual es calentado de forma controlada para secar la muestra.
- Los productos de descomposición son arrastrados con un flujo continuo de oxígeno, en donde pasan por un lecho catalizador en donde son retenidas los posibles interferentes. La presión que tiene el gas es de 80 psi.
- Las especies de mercurio, son reducidas a Hg elemental y se llevan al amalgamador de oro, el cual retiene el mercurio de forma selectiva.
- El amalgamador es calentado lo suficiente para liberar al mercurio en forma de vapor, para llevarlo al paso óptico de una celda espectrofotométrica de absorción atómica. La absorbancia a 253,7 nm es medida, obteniendo la concentración de mercurio en la muestra.



**Figura 8** componentes internos del Mercuriometro

## 6.2. Metales Totales y Metales Lixiviados por SPLP mediante ICP-OES

El análisis de metales por el ICP-OES es una herramienta analítica, con la que se pueden determinar trazas de varios elementos presentes en una muestra. Se basa en la emisión espontanea de fotones provenientes de iones y átomos que han sido previamente excitados. Para arrastrar los analitos, se utiliza gas argón y nitrógeno con una presión de 80 psi.

Los analitos tiene que estar disueltos en una solución para que esta sea inyectada y convertida en aerosol, el cual es digerido a través del canal central del plasma, en donde la temperatura alcanza los 10.000 K, donde el aerosol es vaporizado y los analitos son liberados en forma atómica libre en estado gaseoso. Las siguientes colisiones producidas por la excitación, proporcionan energía adicional, promoviendo los estados excitados. A

continuación los átomos e iones excitados, se estabilizan, volviendo a su estado de menor energía, produciendo la liberación de un fotón. Mediante la longitud de onda del fotón se determina a que analito corresponde, y la cantidad de fotones emitidos está relacionada con la concentración de éste. (Xiangdeng h. and Bradley J. 2000)

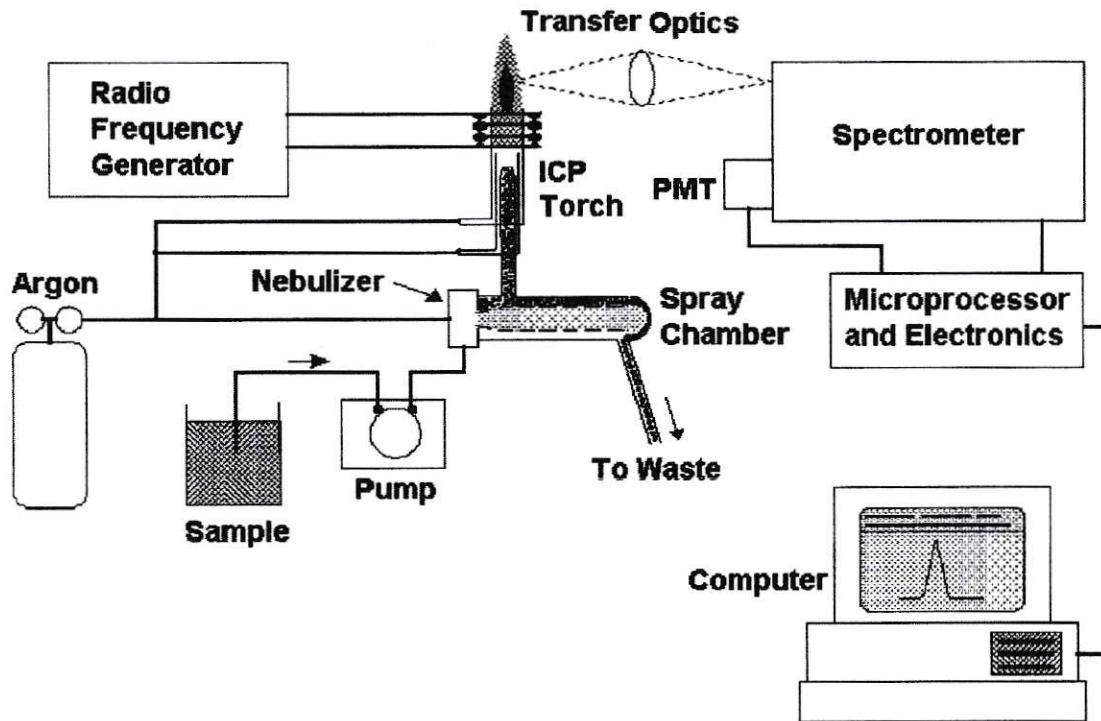


Figura 9 Esquema de los componentes internos del ICP-OES

### 6.3. Cálculos

A continuación se presentan ejemplos de los cálculos realizados para la obtención de los valores EMEG, Ingesta Accidental y Contacto Dérmico:

EMEG:

$$EMEG = \frac{\left( MRL \text{ o } RfD \frac{mg}{kg \text{ día}} \right) \times PC (kg)}{TI (kg)} = \frac{\left( 0,0003 \frac{mg}{kg \text{ día}} \right) \times 70 (kg)}{0,00005 (kg)} = 420 \frac{mg}{kg \text{ día}}$$

Ingesta Accidental cancerígeno para adultos:



$$\begin{aligned}
 \text{Dosis} &= \frac{C_{\text{suelo}} \times EF \times FI \times ED \times IR_{\text{niño, adulto}} \times CF1}{BW_{\text{niño, adulto}} \times AT \times CF2} \\
 &= \frac{910 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) \times 350 \left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right) \times 1 \times 24 \text{ años} \times 100 \left(\frac{\text{mg}}{\text{día}}\right) \times 1e-6 \text{ años}}{70 \text{ kg} \times 70 \text{ años} \times 365 \left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right)} \\
 &= 0,004277 \text{ mg/kgxdía}
 \end{aligned}$$

**Contacto dérmico para adulto:**

$$\begin{aligned}
 \text{Dosis} &= \frac{C_{\text{suelo}} \times CF4 \times SA \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT \times CF2} \\
 &= \frac{910 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right) \times \frac{0,01 (\text{kg} \times \text{cm}^2)}{\text{día} \times \text{m}^2} \times 0,53 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{día}}\right) \times 0,03 \times 350 \left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right) \times 30 \text{ años}}{365 \left(\frac{\text{días}}{\text{año}}\right) \times 70 \text{ años} \times 70 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}}\right)} \\
 &= 0,000849 \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg} \times \text{día}}\right)
 \end{aligned}$$

#### 6.4. Análisis para Metales por SPLP

Información General							
N° Solicitud	6239	N° CA : -					
Fecha	01/07/2015(L) - 21/07/2015 (R)	Hora Análisis : -					
Analista	Jesús Martínez						
Método	ILQAS-0011						
Equipo	ICP-OES Perkin Elmer	N°: 8300					
Estándar de Calibración	QCS-26 High-Purity.	N°: 1410015					
MRC(Multiestandar) <input type="checkbox"/> MR	ICP-200-7,5 High-Purity	N°: 1229733					
Descripción de la Muestra	Suelo	N° Batch: -					
Control de Calidad							
CRITERIO DE ACEPTABILIDAD							
	Cd	Cr	As	Pb	Se	Ag	Ba
concentración (mg/L)							
Bco.	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D
MRC.	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-
MR.	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-
Spike.	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-
Duplicado (cv)	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-
Elementos de Control de Calidad de Análisis							
	Cd	Cr	As	Pb	Se	Ag	Ba
concentración (mg/L)							
Bco.	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D
λ (nm)	226,502	283,555	193,693	220,351	196,022	328,067	493,402
Pendiente	9904	46580	482,7	1549	429,60	46640	2762000
r2	0,999908	0,999991	0,999982	0,999764	0,999884	0,999920	0,999937
MR Teórico	0,300	0,750	0,750	0,750	0,750	0,075	0,750
MR Experimental	0,2886	0,7587	0,7488	0,7577	0,7407	0,0799	0,7621
% rec	96,20	101,16	99,84	101,03	98,76	106,53	101,61
LD	0,062	0,069	0,165	0,054	0,222	0,075	0,061
LC	0,206	0,23	0,55	0,181	0,741	0,25	1,386

Figura 10 Criterio de aceptabilidad y elementos de control de calidad para análisis de metales mediante SPLP

### 6.5. Análisis de Hg mediante SPLP

Información General				
N° Solicitud	6239			
Fecha	15-jul-15		Hora Análisis	15:00
Analista	P.Ayala/JO			
Método	: ILQAL 018			
Equipo	: Perkin Elmer Analyst 700			
Estándar de Calibración	: Hg 1000 ppm/Merck		N°	: HC 105996
MRC(Multiestandar) ó MR	: Hg 1000 ppm/Merck		N°	: HC 619721
Descripción de la Muestra	SPLP de suelos y relaves (Exte. 1)			
N° Libro de Digestión Hg	01 2014		N° Batch	45
Control de Calidad				
Criterio de aceptabilidad		Elementos de Control de Calidad de Análisis		
Bco.	<LD	Blanco	<LD	
MR.	± 20%	MR teo. (ppb)	2,00	
Spike.	± 20%	MR exp. (ppb)	1,69	
Duplicado (%E)	± 20%	% rec	84,3	
Lámpara	70 ± 20	Spike teo. (ppb)	5,00	
		Spike exp. (ppb)	4,30	
		% rec	86,1	
Parametros de trabajo		Muestra (ug/L)	1,196	
λ (nm)	253,7	Muestra D (ug/L)	1,418	
Pendiente	0,00865	Duplicado (%E)	16,99	
r2	0,999689			
Energía lámpara	69			
Límite de detección	0,170 ug/L			
Resultados				
N° Muestra	Hg lectura (ug/L)	Alicuota Muestra(mL)	Aforo(mL)	Concentración(mg/L)
Bco Dig	0,002	100	100	<LD
Bco SPLP Exte.1	0,000	100	100	<LD
Mr 2ppb	2,135	100	100	0,0021
57329	0,113	100	100	<LD
57313	0,125	100	100	0,0001
57314	0,193	100	100	0,0002
57317	0,080	100	100	<LD
57320	0,170	100	100	0,0002
57321	1,581	100	100	0,0016
57323	0,431	100	100	0,0004
57324	1,196	100	100	0,0012
57324 D	1,418	100	100	0,0014
Spike 5ppb Ex.1	4,249	100	100	0,004

Figura 11 Control de calidad y concentración de Hg mediante SPLP

## 6.6. Análisis para Mercurio Total

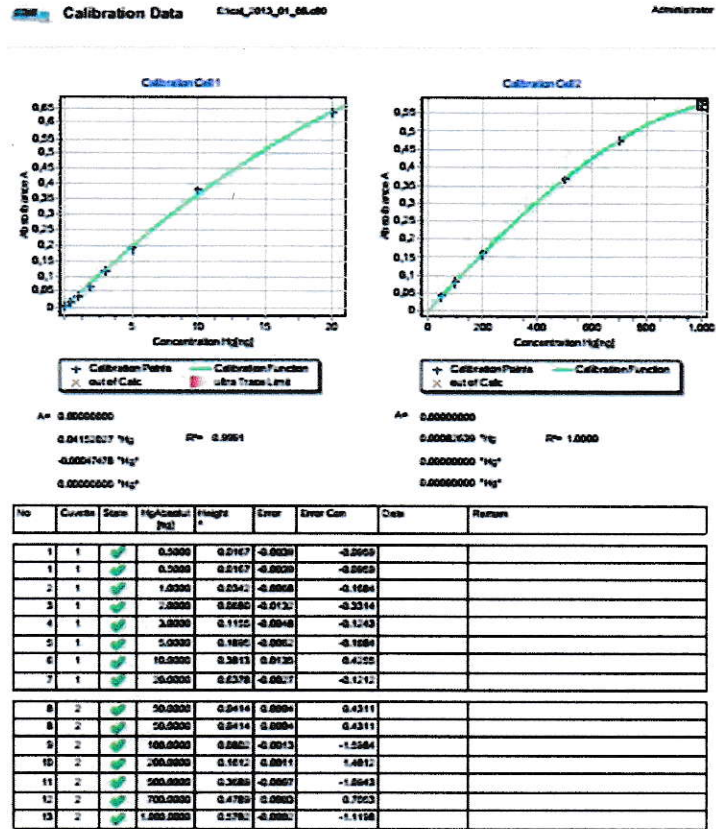


Figura 12 Curva de calibración y concentración de Hg en mercuriometro

## 6.7. Análisis para Metales Totales

Información General																		
N° Solicitud	5974																	
Fecha	24-10-2013(L)/ 25-10-13( R)																	
Analista	Jesús Martínez																	
Método	ILQAS-0023																	
Equipo	ICP-OES Perkin Elmer											N° : 3300 XL						
Estándar de Calibración	QCS-26 High-Purity.											N° : 1223439						
MRC (Multiestandar)	H. P. ICP-200-7,5											N° : 1116012						
	N° :																	
Descripción de la Muestra	Suelo																	
Control de Calidad																		
Parametros																		
	Cd	Zn	Cr	As	Cu	Ni	Pb	Al	Se	Mn	Ag	V	Ba	Co	Mo	Be	B	Fe
concentración (mg/L)																		
MR	0,3000	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500	0,0750	0,3000	0,7500	0,3000	0,3000	0,1500	0,7500	0,7500
MR Obt	0,3119	0,7956	0,7906	0,8352	0,8159	0,8134	0,8044	0,7553	0,8168	0,8038	0,0803	0,3183	0,8332	0,3260	0,3278	0,1630	0,6779	0,8050
% Rec	104,0	106,1	105,4	111,4	108,8	108,5	107,3	100,7	108,9	107,2	107,1	106,1	111,1	108,7	108,3	108,7	90,4	107,3
Blanco	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Long. Onda(nm)	228,503	213,857	267,713	188,985	324,771	231,807	220,358	396,137	196,025	257,814	328,078	282,406	483,381	228,62	202,032	313,117	249,777	238,21
Pendiente	11730	9611	33560	95,5	69380	6735	1021	38670	145,7	168300	57920	66190	1259000	3464	1435	1721000	20370	20080
r2	0,999820	0,999831	0,999846	0,999921	0,999926	0,999823	0,999747	0,999639	0,999542	0,999947	0,999660	0,999811	0,999943	0,999615	0,999854	0,999925	0,999234	0,999880
LD mg/Kg	1,82	2,70	4,81	14,6	0,97	1,39	3,67	10,9	2,29	8,45	1,73	1,45	8,85	2,44	8,3	1,65	7,08	17,3
LC mg/Kg	6,06	9,00	15,4	48,6	3,23	4,64	12,2	36,4	7,64	28,2	5,78	4,8	29,5	8,12	27,6	5,52	23,6	57,7
CRITERIO DE ACEPTABILIDAD																		
	Cd	Zn	Cr	As	CU	Ni	Pb	Al	Se	Mn	Ag	V	Ba	Co	Mo	Be	B	Fe
concentración (mg/Kg)																		
Bco.	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC	<LC
MR.	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-
Spike.	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-	20% +/-
Duplicado (cv)	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-	10% +/-

Figura 13 Parámetros y criterios de aceptabilidad