

13 SEP 2013

OFICINA DE PARTES  
RECIBIDO

Acompaña Informe Final del Plan de Acciones y Medidas del Programa de Cumplimiento

Superintendencia del Medio Ambiente

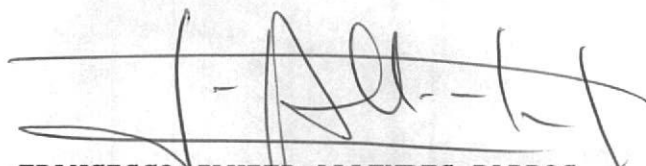
Francisco Javier Allendes Barros, chileno, abogado, cédula nacional de identidad número 10.160.158-7, en representación de **COMPAÑÍA MINERA TECK QUEBRADA BLANCA S.A.**, en adelante indistintamente "CMTQB S.A. o la Compañía", ambos domiciliados para estos efectos en Av. Isidora Goyenechea número 2800 Piso 8 oficina 802, comuna de Las Condes, Santiago, Región Metropolitana, en procedimiento administrativo sancionatorio Rol A-001-2013, en instancia de ejecución de Programa de Cumplimiento, respetuosamente expongo:

Que encontrándome dentro del plazo legal y en conformidad al artículo 42 de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (LO-SMA) y al artículo 11 del D.S. N° 30 del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento sobre Programas de Cumplimiento, Autodenuncia y Planes de Reparación, vengo en acompañar Informe Final del Programa de Cumplimiento presentado por CMTQB S.A. y aprobado por esta Superintendencia (SMA) a través del Ordinario U.I.P.S. N° 74 de fecha 02 de abril de 2013.

El referido informe final da cuenta de la realización satisfactoria de las acciones comprometidas dentro de los plazos estipulados, así como el cumplimiento de las metas fijadas en el Programa de Cumplimiento.

**POR TANTO**, en virtud de lo expuesto y lo dispuesto en el artículo 42 de la LO-SMA, art. 11 del D.S. N° 30/2013 y demás normas legales pertinentes.

**RUEGO A UD.** Tener por acompañado el Informe Final de Cumplimiento del Plan de Acciones y Metas del Programa de Cumplimiento aprobado por esta SMA por medio de su Ord. N° 74 U.I.P.S. y en definitiva dar por cumplido con el mencionado Programa.



**FRANCISCO JAVIER ALLENDES BARROS**

P.p. Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A.

---

**Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A.**

13 de septiembre de 2013

**Informe Final: Programa de Cumplimiento**

---



---

**Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A.**

13 de septiembre de 2013

**Informe Final: Programa de Cumplimiento**

---

**1 INTRODUCCIÓN..... 3**

**2 RESUMEN EJECUTIVO ..... 4**

**3 PLAN DE ACCIONES Y METAS ..... 8**

**4 COSTOS..... 36**

**5 CONCLUSIONES..... 37**

**6 ANEXOS ..... 39**

## 1 Introducción

Debido a una fuga de hidrocarburos (HFO) ocurrida a fines del mes de Diciembre de 2012 y a principios de enero de 2013 en las dependencias de la faena minera Quebrada Blanca, causando un derrame que alcanzó las Quebradas Blanca, Maní y Choja, la Superintendencia de Medio Ambiente ("SMA") formuló cargos contra la Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A. ("CMTQB S.A.") mediante su ORD. U.I.P.S. N°01/2013. El cargo levantado consistió en *"El incumplimiento de la condición establecida en los considerandos 4.2.2. y 4.2.3 de la Resolución Exenta N° 59, de 18 de noviembre de 1998, de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Tarapacá que calificó ambientalmente favorable el proyecto "Botadero Norte de Ripios de Lixiviación."*

Con fecha 11 de marzo de 2013, CMTQB S.A. presentó un Programa de Cumplimiento de acuerdo al artículo 42 de la Ley Orgánica de la SMA, el cual fue aprobado a través del Ordinario U.I.P.S N° 74 de fecha 02 de abril de 2013. En el mencionado Programa de Cumplimiento se comprometió un Plan de Acciones y Metas para cumplir satisfactoriamente con el objetivo general y con los objetivos específicos planteados.

➤ **Objetivo General:**

- Dar cumplimiento a los Considerandos 4.2.2. y 4.2.3 de la RCA 59/1998.

➤ **Objetivos Específicos:**

1. Minimizar los efectos provocados por el derrame de Hidrocarburos en las Quebradas Blanca, Choja y Maní.
2. Reducir al máximo los efectos producto de las actividades de contención y limpieza de hidrocarburos.
3. Minimizar los efectos producidos por la interrupción de la recarga hídrica.
4. Asegurar que situaciones de accidentes y/o emergencias ambientales de esta naturaleza no vuelvan a ocurrir.

En este contexto, el presente documento corresponde al Informe Final que da cuenta del cumplimiento satisfactorio de cada una las Acciones y Metas correspondientes.

## 2 Resumen Ejecutivo

Para efectos de dar cuenta del cumplimiento de cada una de las Acciones y Metas contempladas en el Programa de Cumplimiento, el presente Informe contempla una breve explicación de las actividades mencionadas, junto con una referencia a las metas que se debían alcanzar y a los indicadores establecidos para efectos de evaluar el cumplimiento de dichas metas, así como a los reportes periódicos y/o finales planteados como medios de verificación.

Como ya se ha señalado, las Acciones y Metas establecidas en el Programa de Cumplimiento se planificaron con el objeto de reducir o eliminar los efectos identificados a propósito del derrame de hidrocarburos y de dar cumplimiento a los Considerandos 4.2.2 y 4.2.3 de la RCA 59/ 1998.

De esta forma, se plantearon 4 objetivos específicos y para cada uno de ellos se estipularon "resultados esperados". Por su parte, para la obtención de cada resultado esperado se planificaron las acciones correspondientes.

A continuación se presenta una tabla resumen con los objetivos específicos, los resultados esperados y sus acciones relacionadas.

Objetivo Específico	Resultados Esperados	Acciones
1. Minimizar los efectos provocados por el derrame de Hidrocarburos en las Quebradas Blanca, Choja y Maní.	1.1.: Lograr el 100% de aguas superficiales sin presencia de hidrocarburos en áreas afectadas de Quebrada Blanca, Choja y Maní.	1.1.1. Limpieza a través del retiro de material contaminado 1.1.2 Recorrido de los 87 tramos 1.1.3 Toma mensual muestras agua superficial
	1.2.: Lograr que el 90% de la vegetación (incluyendo pajonal salino) no tenga presencia de hidrocarburos en los sectores de Quebrada Blanca, Choja y Maní.	1.2.1 Limpieza de ejemplares de vegetación con presencia visual hidrocarburos 1.2.2 Recorrido de los 87 tramos 1.2.3 Trasplante y Relocalización de especies
	1.3: Lograr que el 100% de la Fauna Silvestre, Acuática y Terrestre presentes en las Quebradas Blanca, Choja y Maní sin signo de contaminación directa por hidrocarburos.	1.3.1 Limpieza de ejemplares de fauna con presencia visual de hidrocarburos 1.3.2 Recorrido de los 87 tramos 1.3.3 Relocalización de especies de fauna en caso necesario



	1.4: Lograr el 100% de los suelos y sedimentos sin concentraciones de hidrocarburos por sobre los valores de referencia internacionales que se propondrán a la SMA.	1.4.1 Limpiar 100% de los 87 tramos 1.4.2 Recorrido de los 87 tramos 1.4.3 Toma de muestra de suelos con posterioridad a la limpieza
2. Reducir al máximo los efectos producto de las actividades de contención y limpieza de hidrocarburos.	2.1: Lograr el 100% del curso de agua sin presencia de hidrocarburos en Quebradas Blanca, Choja y Maní.	2.1.1 Instalación mallas raschel y material absorbente durante acciones de limpieza 2.1.2 Toma de muestra mensual de aguas superficiales
	2.2: Priorización de limpieza manual y retiro de residuos	2.2.1 Priorizar limpieza manual y utilización de mulas
	2.3: Minimizar la perturbación de la fauna silvestre, acuática y terrestre en las Quebradas Blanca, Choja y Maní, durante las actividades de limpieza de hidrocarburos, por ruido y presencia de gente.	2.3.1 Capacitación al personal participante en las labores de limpieza
3. Minimizar los impactos producidos por la interrupción de la recarga hídrica.	3.1: Reponer la recarga hídrica de al menos 5 l/s, asegurando su calidad para potenciar la vegetación azonal en la comunidad 23.	3.1.1 Limpieza PTAS y sistema de conducción asociado 3.1.2 Instalación de nueva tubería de descarga desde la PTAS hacia Quebrada Blanca 3.1.3 Muestreo de los parámetros establecidos en la Tabla Nº 1 del D.S. 90 3.1.4 Reponer caudal comprometido en RCA
	3.2.: Asegurar la minimización de impactos sobre Flora y Vegetación en tanto no se reponga la recarga hídrica comprometida.	3.2.1 Riego de salvataje en las zonas con presencia de vegetación azonal
	3.3: Asegurar la minimización de impactos sobre la fauna en tanto no se reponga la recarga hídrica comprometida.	3.3.1 Instalación de 10 bebederos artificiales



4. Asegurar que situaciones de accidentes y/o emergencias ambientales de esta naturaleza no vuelvan a ocurrir.	4.1. Mejorar los sistemas de gestión ambiental a fin de prevenir la ocurrencia de un nuevo incidente ambiental	4.1.1 Capacitación de personal en procesos de respuesta a emergencias ambientales 4.1.2 Elaborar y difundir un tríptico con los procedimientos 4.1.3 Realizar un simulacro HAZMAT
	4.2: Medidas operacionales implementadas para prevenir y asegurar que no vuelva a ocurrir un nuevo incidente ambiental	4.2.1 Proceso de certificación de instalaciones de combustibles de los Calentadores de Electrolito Planta 4.2.2 Instalación de flujómetros 4.2.3 Fortalecimiento del Plan de Mantenimiento de las líneas de alimentación de combustible en Calentadores de Electrolito Planta y Calderas de refino

El resumen que presentaremos a continuación da cuenta de las actividades efectuadas a lo largo de aproximadamente 5 meses, en los que se han desplegado numerosos esfuerzos tanto por parte de la organización de la Compañía, como por parte de asesores y empresas contratistas expertas en cada una de las temáticas que fueron abordadas por el Programa de Cumplimiento.

En este contexto, se efectuó un minucioso trabajo de limpieza de las Quebradas, cumpliendo con todas las medidas de resguardo a fin de causar las menores perturbaciones posibles en la ejecución de aquellas labores. La limpieza tuvo como resultado aguas superficiales, flora y fauna sin presencia de hidrocarburos, así como suelos sin concentración de hidrocarburos por sobre los valores de referencia asociados. Lo anterior fue verificado a través de los siguientes medios: la realización de un recorrido del área afectada por el derrame, análisis mensuales de aguas superficiales y mediante la toma de muestras de suelo en cada uno de los puntos representativos. Finalmente, la efectividad de la limpieza fue certificada por Fundación Chile.

Asimismo, se logró reponer la recarga hídrica a Quebrada Blanca con al menos 5 l/s, meta que requirió previamente la limpieza de la PTAS y del sistema de conducción asociado. Esta limpieza también fue certificada por Fundación Chile. El cumplimiento de este objetivo requirió el cambio de la línea de recarga y la posterior puesta en marcha de la PTAS.

Para minimizar los efectos de la suspensión temporal de la recarga en la Quebrada se establecieron medidas, tales como un riego de salvataje (recarga artificial) y la instalación de bebederos de agua para la macro y micro fauna del sector.

Por otra parte, para evitar que se vuelvan a repetir situaciones como el incidente de derrame de hidrocarburos, se capacitó al personal de la Compañía con la colaboración de la entidad experta Environmental Resources Management ("ERM") en procesos de respuesta a emergencias ambientales; se entregaron trípticos con los procedimientos necesarios para informar potenciales incidentes y se realizó un simulacro HAZMAT para probar la efectividad del Plan de Protocolo de Incidentes y Contingencias.

En relación a las medidas operacionales para prevención de ocurrencia de incidentes similares, se inició un proceso de certificación ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles ("SEC") de las instalaciones de combustibles de los Calentadores de Electrolito Planta para dar cumplimiento al D.S. Nº 160/2008. Este proceso concluyó exitosamente, con todas las instalaciones comprometidas certificadas ante la SEC, tanto para Fuel Oil Nº 6 como para Diesel. También se instalaron flujómetros en aquellas áreas en que no los había del sistema de los Calentadores de Electrolito Planta y en el sistema de alimentación de combustible de Refino y Campamento. En esta misma dirección, se fortaleció el Plan de Mantenimiento de las líneas de alimentación del Combustible en Calentadores de Electrolito Planta y Calderas de Refino.

En este contexto, todas las medidas adoptadas han respondido satisfactoriamente a los objetivos planteados en el Programa de Cumplimiento.

### 3 Plan de Acciones y Metas

Como se ha señalado anteriormente, en el Programa de Cumplimiento se definieron 4 objetivos específicos y a partir de esos objetivos se definieron “resultados esperados” para los cuales se plantearon diferentes acciones.

A continuación, se describen cada uno de los resultados esperados junto a un resumen del cumplimiento de cada una de las acciones relacionadas.

**Resultado Esperado 1.1.: Lograr el 100% de aguas superficiales sin presencia de hidrocarburos en áreas afectadas de Quebrada Blanca, Choja y Maní.**

#### **Acción 1.1.1: Limpieza a través del retiro de material contaminado**

La primera estrategia de respuesta fue controlar la fuente, el escape, y dispersión del hidrocarburo derramado. De esta manera, con anterioridad a la aprobación del Programa de Cumplimiento y en el marco de las medidas provisionales ordenadas por la SMA, se iniciaron las acciones de limpieza de las Quebradas afectadas por el derrame de hidrocarburos con la guía y asesoría de Fundación Chile entre otros.

Con fecha 05 de abril de 2013 se hizo entrega a esta SMA de un informe especificando los tramos que habían sido limpiados con ocasión de las medidas provisionales y por ende, estableciendo los tramos que serían limpiados en el marco del Programa de Cumplimiento.

De esta forma, una vez aprobado el Programa de Cumplimiento, se limpiaron los 55 tramos restantes, distribuidos como sigue:

- **Sector Las Cascadas:** Tramos 33 y 35
- **Sector Quebrada Maní/Choja:** 36 al 87

La limpieza de las Quebradas requirió un alto nivel de logística y de esfuerzo del personal que estuvo a cargo de estas labores, dado que se tuvieron que enfrentar difíciles condiciones climáticas (temperaturas bajo cero, fuertes vientos y nevadas), y además se tuvo que acceder a zonas de complejo acceso, como algunas áreas de cascadas naturales.

Las limpiezas de las Quebradas concluyeron el día 30 de abril de 2013, dentro del plazo estipulado para tal efecto.



El detalle de la ejecución de esta Acción se presentó a esta SMA con fecha 30 de mayo de 2013, en Informe Final de la Acción, en concordancia a lo señalado en el Programa de Cumplimiento.

En este contexto, la **Meta Parcial** comprometida era lograr que el 100% de los 87 tramos estuvieran limpios.

Los **indicadores** dispuestos: N° de tramos limpiados/N° de tramos totales \* 100:

- No haber detección visual
- No encontrar cubrimiento de fondo, orilla o ribera
- No existir olor perceptible

Se puede concluir que la **meta parcial** asociada a esta acción ha sido lograda, en tanto que los 55 tramos que debían ser limpiados fueron limpiados. Asimismo, no hubo detección visual de presencia de hidrocarburos, ni tampoco cubrimiento de fondo, orilla o ribera, ni olor perceptible. Cabe destacar que la limpieza de las Quebradas ha sido ya certificada por Fundación Chile, certificado que se acompaña en el Anexo 1.

#### **Acción 1.1.2: Recorrido de los 87 tramos**

Con el fin de constatar el cumplimiento de los Resultados Esperados relacionados con la limpieza en las Quebradas, entre los días 22, 23 y 24 de mayo de 2013 fue realizado un recorrido pedestre por los 87 tramos afectados por el derrame (siendo el último aquel que quedó definido en su límite final por la coordenada informada por SAG), con el fin de identificar o descartar sitios o especies de flora o fauna silvestre, terrestre o acuática, con presencia de hidrocarburos luego de ejecutada la limpieza de los tramos.

Con fecha 08 de mayo de 2013 se ingresó una carta a esta SMA cursando una invitación para participar en el recorrido, en cumplimiento con lo comprometido en el Programa de Cumplimiento.

La metodología de recorrido y registro se ajustó a los compromisos asumidos en el Programa de Cumplimiento. En este sentido, con fecha 1 de julio de 2013 fue entregado un Reporte Final a esta SMA en que consta el cumplimiento de las acciones 1.1.2, 1.2.2, 1.3.2 y 1.4.2, correspondientes al Recorrido de los 87 tramos.

El recorrido se efectuó con expertos de Flora y Fauna terrestre y acuática, lo que se refleja en los informes adjuntados en el Anexo 2 del Reporte Final de la Acción. En dicho Reporte también se acompañó el tracking del recorrido realizado con GPS y el registro fotográfico (CD acompañado en Anexo 1 del mencionado Reporte Final). Todo lo anterior, dando cumplimiento a las acciones pertinentes del Programa de Cumplimiento.

Según consta en el Reporte Final enviado a esta SMA el día 1 de julio de 2013, el recorrido fue efectuado en tres jornadas, en las que se recorrió a pie una extensión de 42,5 kilómetros<sup>1</sup> en un tiempo cercano a 18,5 horas, con un promedio de desplazamiento de 2.6 km/h. Con este promedio de tiempo de desplazamiento fue posible realizar una revisión minuciosa y adecuada de las condiciones del área.

Finalmente, cabe destacar que la ejecución de las acciones 1.1.2, 1.2.2, 1.3.2 y 1.4.2 dieron cuenta del **éxito de la limpieza llevada a cabo por la Compañía** con la asesoría de Fundación Chile, no siendo detectados sectores con presencia de hidrocarburos, así como tampoco especies de flora, fauna terrestre o acuática con presencia de dichas sustancias durante todo el recorrido de los 87 tramos por las Quebradas Blanca, Choja y Maní.

En este contexto la **meta parcial** asociada a las acciones 1.1.2, 1.2.2, 1.3.2 y 1.4.2 era el 100% de los tramos recorridos, la cual fue cumplida de forma satisfactoria.

Los **indicadores** de cumplimiento: Nº de tramos recorridos/ Nº de tramos totales \*100 dieron cuenta del cumplimiento de la medida propuesta en el Programa de Cumplimiento.

Es posible entonces concluir que la meta fue alcanzada, en tanto se recorrieron la totalidad de los 87 tramos considerados en el área afectada por el derrame de hidrocarburos, no constatándose en ellos sectores con presencia de hidrocarburos, así como tampoco especies de flora, fauna terrestre o acuática con presencia de dichas sustancias durante todo el recorrido de los 87 tramos realizado.

### **Acción 1.1.3: Toma Mensual de Muestras de aguas superficiales**

Como una manera de verificar la efectividad de la limpieza de los tramos, se ejecutó un programa de toma mensual de muestras de aguas superficiales a partir del mes de abril y hasta junio de 2013, en los puntos de agua superficial correspondientes a AS01, AS02, AS03, AS04, AS05 y AS06 fijados por la SMA a través Resolución Nº 58/2013.

Cabe destacar que el análisis fue realizado a través de laboratorios acreditados, en cumplimiento del inciso cuarto del artículo único de la Resolución Exenta Nº 37 del 15 de enero de 2013 de la SMA. Así, los parámetros analizados fueron los siguientes: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH), Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno (BTEX), Hidrocarburos Volátiles (HV), Hidrocarburos Totales e Hidrocarburos Fijos.

---

<sup>1</sup> Se destacó en el informe la diferencia existente entre la distancia real medida por GPS en el recorrido a pie (42,5 Km.) respecto a los 37 Km informados en el Programa de Cumplimiento. Dicha diferencia se funda en cuanto los 37 Km fueron estimados cartográficamente, en base a líneas rectas; mientras que los 42,5 Km resultaron de una medición *in situ*, considerando todos los accidentes o curvas del trayecto.



Las fechas exactas en que fueron realizados los muestreos son las siguientes:

- 09 y 10 de abril de 2013 : Campaña de Muestreo Abril
- 15 y 16 de mayo de 2013 : Campaña de Muestreo Mayo
- 12 de junio de 2013 : Campaña de Muestreo Junio

El muestreo se realizó en los puntos definidos por esta SMA, considerando la imposibilidad de realizar el muestreo en los últimos dos puntos AS05 y AS06 por cuanto éstos se encontraban sin agua, siguiéndose para estos efectos los criterios determinados por la SMA en su Resolución N° 58/2013.

Los resultados analíticos de cada una de las campañas de muestreo fueron entregados a esta SMA, tal como se indica a continuación:

- Campaña 1 - abril de 2013: resultados entregados con fecha 30 de mayo de 2013 y complementados mediante escrito de fecha 10 de junio de 2013. Informes de ensayo SE1300642-A y SE1300664-A (completos con PAH).
- Campaña 2 - mayo de 2013: resultados entregados con fecha 18 de junio de 2013. Informes de Ensayos SE1300836 y SE1300824.
- Campaña 3 - junio de 2013: resultados entregados con fecha 8 de julio de 2013. Informes de Ensayos SE1300937 y SE130945.

El día 30 de agosto de 2013 se entregó un informe final a la SMA con detalles del cumplimiento de la Acción y con la totalidad de los resultados analíticos.

De acuerdo a lo anterior, se dio cumplimiento a las metas parciales 1 y 2 asociadas a esta Acción.

- **Meta Parcial 1:** 100% de las muestras planificadas tomadas.  
**Indicador:**  $(N^{\circ} \text{ Muestras Tomadas} / N^{\circ} \text{ Muestras Planificadas}) * 100 = (12/12) * 100 = 100\%$

Todas las muestras analizadas arrojaron un resultado analítico bajo el límite de detección de hidrocarburos.

- **Meta Parcial 2:** 100% de las muestras sin presencia de hidrocarburos.  
**Indicador:**  $(N^{\circ} \text{ de Muestras bajo límite detección de hidrocarburos} / N^{\circ} \text{ Muestras Totales}) * 100 = (12/12) * 100 = 100\%$

**Resultado Esperado 1.2.: Lograr que el 90% de la vegetación (incluyendo pajonal salino) no tenga presencia de hidrocarburos en los sectores de Quebrada Blanca, Choja y Maní.**

**Acción 1.2.1: Limpieza de ejemplares de vegetación con presencia visual de hidrocarburos.**

Una de las formas de alcanzar el cumplimiento del Resultado Esperado 1.2, consistente en el logro del 90% de la vegetación –incluyendo pajonal salino- sin presencia de hidrocarburos en los sectores de las Quebradas Blanca, Maní y Choja, fue la Acción 1.2.1 propuesta, consistente en la limpieza de ejemplares de flora y vegetación con presencia visual de hidrocarburos, susceptibles de ser sometidos a este proceso, que se encuentren a lo largo de los tramos que no han sido limpiados con ocasión de la ejecución de las medidas provisionales.

Para estos efectos se contrataron los servicios de la empresa consultora experta Flora & Fauna. Profesionales de esta empresa estuvieron presentes en terreno durante la ejecución de las labores de limpieza supervisadas por Fundación Chile.

En este contexto, se debe señalar que en las acciones de limpieza de los tramos parte del Programa de Cumplimiento tramos (33 a 87) no fue necesario realizar limpieza a ningún ejemplar de flora y vegetación, debido a que no fueron detectados ejemplares de esta clase con presencia visual de hidrocarburos.

En el Reporte Final de esta Acción, entregado con fecha 30 de mayo de 2013 a la Superintendencia del Medio Ambiente, constan los antecedentes relacionados con esta Acción.

De esta forma se ha dado cumplimiento a la **meta estipulada** (al menos 90% de los individuos identificados limpios), considerando el **indicador** propuesto (Nº de ejemplares con presencia visual de hidrocarburos limpiados efectivamente/ Nº de ejemplares detectados con presencia de hidrocarburos), en tanto no se detectaron ni identificaron ejemplares con presencia de hidrocarburos.

**Acción 1.2.2 Recorrido de los 87 tramos**

A fin de analizar el cumplimiento de esta Acción es necesario remitirse a lo ya señalado respecto de la Acción 1.1.2.

Adicionalmente se debe señalar que en el Informe Final de esta Acción, de fecha 01 de julio de 2013, se acompañaron conclusiones de los expertos de flora y fauna que asistieron al recorrido.

En este contexto la **meta** parcial asociada a las acciones 1.1.2, 1.2.2, 1.3.2 y 1.4.2, de lograr el 100% de los tramos recorridos fue cumplida de forma satisfactoria.

Los **indicadores** de cumplimiento son los siguientes: Nº de tramos recorridos/ Nº de tramos totales \*100

Se puede concluir entonces que la meta fue alcanzada, en tanto se recorrieron la totalidad de los 87 tramos considerados en el área afectada por el derrame de hidrocarburos.

### **Acción 1.2.3 Trasplante y relocalización de especies**

También para efectos de minimizar los efectos del derrame, se estipuló la Acción 1.2.3 consistente en el trasplante y relocalización de especies afectadas sólo cuando no fuera posible asegurar la viabilidad de los ejemplares en su sitio de origen.

Para efectos de abordar esta Acción y sus objetivos, expertos de la consultora Flora & Fauna estuvieron en terreno durante la ejecución de las labores de limpieza supervisadas por Fundación Chile, para determinar la necesidad de realizar trasplante y relocalización de especies.

Dado que las condiciones citadas anteriormente no fueron detectadas en terreno, es decir, no se evidenciaron ejemplares de flora que cuya viabilidad se viese comprometida en su sitio originario de crecimiento por haber entrado en contacto con el hidrocarburo derramado, no fue necesario realizar el trasplante y relocalización de ejemplares de flora afectadas.

En la totalidad de los recorridos efectuados por el equipo de científicos de Flora y Fauna no se detectó ningún ejemplar con presencia visual de hidrocarburos, susceptibles de ser sometidos a este proceso. De esta forma, dada que la viabilidad de los ejemplares en su sitio de origen no se encontraba amenazada, no fue necesaria la realización de estas acciones de trasplante y relocalización.

Con fecha 30 de mayo de 2013, conforme a lo comprometido en el Plan de Cumplimiento, fue entregado a la SMA el Informe fundado en que se señaló la no necesidad de realizar labores de rescate y relocalización. Por tanto, no fue requerida la entrega del Reporte Final de ejecución y de estado de prendimiento señalado en el Programa de Cumplimiento.

En este contexto, se ha dado cumplimiento a la **acciones y metas** correspondientes, informando fundadamente la no necesidad de realizar trasplante y relocalización de flora y vegetación, en tanto no se detectaron ni identificaron ejemplares con presencia de hidrocarburos. Todo de conformidad a lo establecido en el Programa de Cumplimiento.

**Resultado Esperado 1.3: Lograr el 100% de la Fauna Silvestre, Acuática y Terrestre presentes en las Quebradas Blanca, Choja y Maní sin signos de contaminación directa por hidrocarburos.**

**Acción 1.3.1 Limpieza de ejemplares de fauna acuática y terrestre con presencia visual de hidrocarburos, susceptible de ser sometidos a este proceso, que se encuentren a lo largo de los tramos que no han sido limpiados con ocasión de la ejecución de las medidas provisionales.**



En orden a lograr la Acción 1.3.1, consistente en la limpieza de ejemplares de fauna, acuática y terrestre, con presencia visual de hidrocarburos, susceptibles de ser sometidos a este proceso - que se encuentren a lo largo de los tramos que no han sido limpiados con ocasión de las ejecución de las medidas provisionales-, expertos de Consultora Flora & Fauna –por encargo de Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A.- estuvieron en terreno durante la ejecución de las labores de limpieza de las Quebradas supervisadas por Fundación Chile. Durante la ejecución de dichas actividades no fue necesario realizar acciones de limpieza a ningún ejemplar de fauna silvestre, acuática y terrestre, debido a que en todos los recorridos realizados por el equipo consultor de Flora y Fauna a lo largo de estos tramos, no fue detectado ningún animal con presencia visual de hidrocarburos, susceptible de ser sometido a este proceso.

Con fecha 30 de mayo de 2013 se entregó a la SMA el reporte final de esta Acción, en concordancia a lo señalado en el Programa de Cumplimiento.

De esta forma, se ha dado cumplimiento satisfactorio a la **acción y meta** estipulada (100% de los individuos identificados limpios) de acuerdo al **indicador** propuesto (Nº de ejemplares con presencia visual de hidrocarburos limpiados efectivamente/Nº de ejemplares detectados con presencia de hidrocarburos \*100), en tanto no se detectaron ni identificaron ejemplares con presencia de hidrocarburos.

### **Acción 1.3.2 Recorrido de los 87 tramos**

A fin de analizar el cumplimiento de esta Acción es necesario remitirse a lo ya señalado respecto de la Acción 1.1.2.

Adicionalmente, se debe señalar que en el Informe Final de la Acción entregado a esta SMA con fecha 01 de julio de 2013, se acompañaron conclusiones de los expertos de flora y fauna que asistieron al recorrido.

En este contexto la **meta** parcial asociada a las acciones 1.1.2, 1.2.2, 1.3.2 y 1.4.2 es el recorrido del 100% de los tramos. Por su parte, los **indicadores** de cumplimiento son: Nº de tramos recorridos/ Nº de tramos totales \*100.

Finalmente, es posible concluir que la meta fue alcanzada en tanto se recorrieron la totalidad de los 87 tramos considerados en el área afectada por el derrame de hidrocarburos.

### **Acción 1.3.3 Relocalización de especies**

Entre las acciones contempladas para lograr que el 100% de la Fauna Silvestre, acuática y terrestre, presentes en las quebradas Blanca, Choja y Maní, se encontrara sin signos de

contaminación directa por Hidrocarburos, se planteó la Acción 1.3.3. consistente en la relocalización de especies de fauna, acuática y terrestre afectadas sólo cuando no fuera posible asegurar la viabilidad de los ejemplares en su sitio de origen.

Para efectos de abordar esta Acción, expertos de Consultora Flora & Fauna –por encargo de Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A.- estuvieron en terreno durante la ejecución de las labores de limpieza supervisadas por Fundación Chile. Lo anterior, para determinar cuando fuese necesario, ejecutar la relocalización de especies.

Finalmente, no fue necesario realizar las actividades de relocalización de especies de fauna, acuática y terrestre, debido a que en todos los recorridos efectuados por el equipo de científicos no fue detectado ningún ejemplar con presencia visual de hidrocarburos, susceptibles de ser sometidos a este proceso. De esta forma, el aseguramiento de la viabilidad de los ejemplares en su sitio de origen no requirió de la ejecución de la Acción 1.3.3 del referido Programa.

Con fecha 30 de mayo de 2013 se entregó a esta SMA un Informe Fundado señalando que no fue necesario realizar las acciones de relocalización de especies. En este contexto, y de acuerdo a lo señalado en el Programa, no fue necesario presentar un Reporte Final.

De esta forma se ha dado cumplimiento a la acción y meta correspondiente, informando fundadamente la no necesidad de realizar relocalización de fauna, en tanto no se detectaron ni identificaron ejemplares con presencia de hidrocarburos.

**Resultado Esperado 1.4: Lograr el 100% de los suelos y sedimentos sin concentraciones de hidrocarburos por sobre los valores de referencia que se propondrán a la SMA.**

**Acción 1.4.1 Limpieza de los tramos a través del retiro del material que contenga hidrocarburos, de los tramos que no han sido limpiados con ocasión de la ejecución de las medidas provisionales.**

A fin de analizar el cumplimiento de esta Acción es necesario remitirse a lo señalado respecto de la Acción 1.1.1.

La **Meta Parcial** comprometida fue lograr que el 100% de los tramos estuvieran limpios. El indicador propuesto a fin de determinar el cumplimiento de esta Meta Parcial fue el siguiente:  $(N^{\circ} \text{ de tramos limpiados} / N^{\circ} \text{ de tramos totales}) * 100$ .

El Informe final de esta Acción, el que contiene detalles respecto de su cumplimiento, fue entregado a esta SMA con fecha 30 de mayo de 2013.

Se puede concluir que la meta parcial asociada a esta acción ha sido lograda satisfactoriamente, en tanto se debían limpiar 55 tramos, labor que fue debidamente realizada, no habiendo detección



visual, cubrimiento ni percibiéndose olor de hidrocarburos. Cabe destacar que la limpieza de las Quebradas ha sido certificada por Fundación Chile, certificado que se acompaña en Anexo 1.

#### **Acción 1.4.2 Recorrido de los 87 tramos**

A fin de analizar el cumplimiento de esta Acción es necesario remitirse a lo ya señalado respecto de la Acción 1.1.2.

Mayores antecedentes en relación al cumplimiento de esta Acción se encuentran en el Informe Final de la Acción entregada a esta SMA con fecha 01 de julio de 2013<sup>2</sup>.

En este contexto, la **meta parcial** asociada a las acciones 1.1.2, 1.2.2, 1.3.2 y 1.4.2 es el logro del 100% de los tramos recorridos. Los **indicadores de cumplimiento**: N° de tramos recorridos/ N° de tramos totales \*100. Es posible concluir que la meta fue alcanzada de forma satisfactoria, en tanto se recorrieron la totalidad de los 87 tramos considerados en el área afectada por el derrame de hidrocarburos.

#### **Acción 1.4.3 Una toma de muestras, en cada uno de los puntos representativos del total del área alcanzada por el derrame.**

Esta acción contempló una toma de muestras, en cada uno de los puntos representativos del total del área alcanzada por el derrame, para los siguientes parámetros: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH) e Hidrocarburos de Petróleo Total (TPH, por sus siglas en inglés).

Entre los días 11 y 13 de junio de 2013 se realizó la toma de muestras de suelos comprometida, dándose cumplimiento a la siguiente Meta Parcial:

- **Meta Parcial 1:** 100% de las muestras planificadas tomadas.
- **Indicador:** (N° Tramos Limpiados / N° Tramos Totales) \*100 = 100%

Como medio de verificación, el día 31 de julio de 2013 CMTQB S.A. presentó a la SMA el Informe final de esta Acción, en cuyo Otrosí se acompañó el documento llamado "Informe Técnico: Resultados Analíticos del Plan de Muestreo Confirmatorio de Sedimentos" elaborado por Fundación Chile, así como los resultados analíticos de las muestras tomadas las que fueron analizadas por el laboratorio "Centro de Calidad de Laboratorios" (CQA) de Brasil.

En el Anexo 2 de este Informe se presenta el Informe Técnico "Análisis de Resultados Analíticos del Plan de Muestreo Confirmatorio de Sedimentos" elaborado por Fundación Chile el cual contiene

---

<sup>2</sup> En consideración a que el día 30 de junio, día propuesto en el Programa de Cumplimiento para la entrega de dicho informe, era día domingo, éste fue entregado al día hábil siguiente a dicha fecha.

un completo análisis de los resultados obtenidos, concluyendo que el análisis integral de los resultados obtenidos en el marco del muestreo confirmatorio de la limpieza realizada en las quebradas Blanca, Choja y Maní requirió la utilización de valores de referencia adicionales a los propuestos originalmente en el punto 8 del ORD U.I.P.S. N° 124 (16 de abril de 2013), debido a que los anteriores no representaban las condiciones imperantes en los tramos 19 y 20, donde no se registra presencia de agua en la quebrada, y por ende, **no existe un ecosistema acuático expuesto a los PAHs.**

En este contexto, la norma canadiense establece la necesidad de utilizar los valores de referencia para la matriz en estudio en conjunto con información de apoyo adicional; como, por ejemplo, guías ambientales de calidad para otras matrices que permitan representar de manera más adecuada las condiciones específicas del sitio. De esta forma, se optó por la aplicación de la normativa canadiense para calidad de suelos en forma complementaria. Bajo este escenario, que comprende el análisis de las concentraciones medidas considerando las características sitio específicas de los tramos, los valores obtenidos se encuentran muy por debajo los valores de referencias propuestos en la norma.

Los análisis de los resultados obtenidos en el marco del muestreo confirmatorio de la limpieza realizada en las Quebradas Blanca, Choja y Maní, indican que los tramos muestreados no presentan concentraciones de hidrocarburos por sobre los valores que se contemplan en las normas de referencia utilizadas, aplicadas según los términos y condiciones de uso que se especifican en las mismas normas. Asimismo, permiten concluir que no existe un riesgo para el medio ambiente asociado a la presencia de PAH y TPH en la zona y, que por lo tanto, no es necesario continuar con la investigación ni realizar la intervención de alguno de éstos.

Con esto, se da cumplimiento a:

- **Meta Parcial 2:** 100% de las muestras sin presencia de hidrocarburos por sobre los valores de referencia.
- **Indicador:**  $(N^{\circ} \text{ de Muestras con resultado analítico conforme al valor de referencia} / N^{\circ} \text{ Muestras Totales}) * 100 = 100\%$

En cumplimiento a lo previsto en el Programa de Cumplimiento, el Reporte Final, que contiene mayores detalles sobre lo expuesto precedentemente, fue presentado a esta SMA con fecha 31 de Julio de 2013, el cual se complementa con el Informe Técnico "Análisis de Resultados Analíticos del Plan de Muestreo Confirmatorio de Sedimentos", que se incluye en el Anexo 2 de esta presentación.

**Resultado Esperado 2.1: Lograr el 100% del curso de agua sin presencia de hidrocarburos en Quebrada Blanca, Choja y Maní.**

### Acción 2.1.1 Instalación de mallas raschel y material absorbente durante acciones de limpieza

Esta acción definió que durante las acciones de limpieza, en los tramos que no han sido limpiados con ocasión de la ejecución de las medidas provisionales (desde el tramo 33 al 87), se colocaría malla raschel y material absorbente sólo donde fuese necesario, con el fin de evitar que el material retirado de suelos se solubilizara parcialmente en el cauce de agua.

Las zonas mayormente afectadas por la presencia de hidrocarburos en contacto directo con el curso de agua correspondieron a la Zona de Las Cascadas (Tramos 33 a 35). En este contexto, entre los días 27 y 30 de abril 2013 durante la limpieza de la Zona de Las Cascadas, se hizo necesario, para los trabajos de extracción de sedimentos contaminados, el uso de estos materiales. El resto de los tramos, es decir, del 36 al 87 se limpiaron sin necesidad de usar dicho material.

Las coordenadas de los tramos intervenidos con estos materiales fueron las siguientes:

Resumen tramos limpiados con material absorbente y malla raschel

Tramo	Inicio Coordenadas		Término Coordenadas		Extensión m	Material absorbente utilizado	
	Este	Norte	Este	Norte		Paños	Malla (m <sup>2</sup> )
33	512906	7668412	512354	7668570	704	100	40
34	512354	7668570	511958	7669069	735	150	60
35	511958	7669069	511712	7669408	603	100	30

Es importante mencionar, que tanto el tipo de material y el procedimiento llevado a cabo, fueron recomendados y posteriormente visados por expertos limnólogos de la empresa GESAM Consultores Ambientales, en atención a las características específicas de cada punto.

Específicamente, se cumplió con la **meta parcial 1** al implementarse material absorbente en el 100% de los lugares donde fue necesario. Esto es, en los tramos 33, 34 y 35.

Es posible verificar, mediante el **indicador N° 1**, el cumplimiento de esta Meta Parcial, por cuanto fue utilizada malla raschel y paños absorbentes en todos los puntos en que esto fue necesario. Esto es, en los tramos 33, 34 y 35. Así,  $(3 \text{ Tramos } (33, 34, 35) / 3 \text{ Tramos } (33, 34, 35)) * 100 = 100\%$ .

Asimismo, se cumplió con la **meta parcial N° 2**, informando de la necesidad de utilizar malla raschel y material absorbente en las labores de limpieza mediante el Reporte Periódico entregado a esta SMA con fecha 15 de abril de 2013 y mediante el Reporte Final entregado con fecha 30 de mayo de 2013, el cual contiene detalles del cumplimiento de esta Acción, así como fotografías y



cartografía georeferenciada. Los tramos mencionados fueron auditados y liberados por personal de Fundación Chile.

De esta forma, es posible verificar el cumplimiento del **Indicador N° 2**, consistente en informar a esta SMA de la necesidad de utilizar material absorbente en las labores de limpieza.

#### **Acción 2.1.2 Toma de muestra mensual**

A fin de verificar el cumplimiento de esta Acción es necesario remitirse a lo ya señalado respecto de la Acción 1.1.3.

En este contexto, se dio cumplimiento a las metas parciales 1 y 2, que consisten en lo que a continuación señalamos.

- **Meta Parcial 1:** 100% de las muestras planificadas tomadas.
- **Indicador:**  $(N^{\circ} \text{ Muestras Tomadas} / N^{\circ} \text{ Muestras Planificadas}) * 100 = (18/18) * 100 = 100\%$

Se tomaron todas las muestras correspondientes a las 3 campañas comprometidas. El muestreo se realizó en los puntos definidos por esta SMA, considerando la imposibilidad de realizar el muestreo en los últimos dos puntos AS05 y AS06, adoptando para estos efectos el criterio otorgado por esta SMA en Resolución N°58/2013.

- **Meta Parcial 2:** 100% de las muestras sin presencia de hidrocarburos.
- **Indicador:**  $(N^{\circ} \text{ de Muestras bajo límite detección de hidrocarburos} / N^{\circ} \text{ Muestras Totales}) * 100 = (18/18) * 100 = 100\%$

Todas las muestras analizadas arrojaron un resultado analítico bajo el límite de detección de hidrocarburos.

El día 30 de agosto de 2013 se entregó un Reporte Final a la SMA, con la totalidad de los resultados analíticos, dando cuenta del cumplimiento de esta Acción.

### **Resultado Esperado 2.2: Priorización de limpieza manual y retiro de residuos en mulas**

#### **Acción 2.2.1 Priorizar limpieza manual y utilización de mulas**

Esta Acción establece la priorización de la limpieza manual y retiro en mulas del material afectado con hidrocarburos en todos los tramos que no han sido limpiados con ocasión de la ejecución de las medidas provisionales.

En este contexto, la Acción dispone que sólo en forma excepcional, previa opinión de experto, se usaría maquinaria para las actividades de limpieza. Para estos efectos antes de proceder con estas

acciones se debía presentar a la SMA un informe especificando las razones técnicas justificando tal necesidad, entidad que debía aprobar las acciones previamente.

De acuerdo a lo anterior con fecha 18 de abril de 2013, CMTQB S.A. presentó un escrito a la SMA acompañando informe técnico "Solicitud Uso Maquinaria Pesada" mediante el cual se solicitó autorización para utilizar la maquinaria en un punto acotado del proyecto, cercano al km 35 equivalente al tramo 87.

El día 23 de abril del Ordinario U.I.P.S. N° 138/2013, la SMA autorizó lo solicitado.

Con fecha 30 de mayo de 2013 se presentó a esta SMA un Informe final del cumplimiento de esta Acción en el cual se detallan los antecedentes de su ejecución.

En virtud de lo anterior, de todos los tramos que no fueron limpiados con ocasión de la ejecución de las medidas provisionales, es decir, de los tramos 33 al 87, sólo en un punto (el tramo 87) se necesitó el uso de maquinaria pesada (retroexcavadora) para la limpieza y retiro de material contaminado.

De acuerdo lo anterior, se dio cumplimiento a la **meta parcial 1 de la acción 2.2.1** que especifica que un **90%** de la limpieza de los tramos que no han sido limpiados, es decir, tramos 33 al 87, se realizarían en forma manual.

Esto queda reflejado con el **indicador N° 1 asociado** al Programa de Cumplimiento, donde: N° de Tramos limpiados de forma manual es 53 / N° de Tramos Totales es 54 (desde el 33 hasta el 87) \*100, se obtiene un **98%** de cumplimiento.

Por otro lado, respecto a los residuos extraídos, se contabilizaron aproximadamente 65.500 kg, equivalentes a un volumen de 38,3 m<sup>3</sup>. Estos fueron almacenados en maxisacos y tambores de 200 L. En el tramo 61 se instaló un sitio de acopio temporal, para recibir el material retirado desde las diferentes zonas impactadas.

Respecto a la **meta parcial N° 2** que está asociada a lograr un **90%** de retiro de residuos en mulas para los tramos que no han sido limpiados, se debe señalar que ésta se cumplió satisfactoriamente.

El material retirado desde la zona de las Cascadas (tramos 33 al 35) y hasta el tramo 61 fue siempre transportado por mulas por cuanto no existía un camino de acceso y porque se consideró trabajar con el mínimo impacto posible al medio ambiente. Asimismo, desde el tramo 62 al 86 y en parte del tramo 87 se retiró el material removido en mulas hasta el camino de acceso existente donde esperaban los camiones, a fin de no construir nuevos caminos de acceso al cauce, lugares de estacionamientos u otros.



La excepción fue el retiro del material donde se utilizó maquinaria en el cruce de camino del tramo 87, el cual fue depositado desde la retroexcavadora hasta los maxisacos y luego cargados en el camión que esperaba en el camino de acceso existente mediante otro equipo móvil con una grúa pluma. Como consecuencia de esto, no fue necesario ni se justificaba la utilización de mulas para efectuar el retiro en este punto, debido a que el camión aguardaba en el camino existente ubicado a un costado del punto de remoción.

En definitiva, se cumplió la **meta parcial N° 2** debido a que un 98% del retiro de residuos desde los tramos sujetos al Programa de Cumplimiento se efectuó en mulas (en un total de 53 de 54 tramos). Lo anterior, no se ve reflejado en el **indicador N° 2** planteado en el Programa de Cumplimiento, debido a que tal indicador fue planteado en base a un criterio de volumen y no de tramos intervenidos con las actividades de limpieza. En este contexto, el objetivo ambiental fue cumplido a cabalidad en tanto se priorizó acciones que causarían el mínimo impacto en todos los tramos en los que se efectuaron labores de limpieza. Sin embargo, atendido a que en el tramo 87 (punto final del derrame) se concentró más material contaminado y a la acción de la retroexcavadora, naturalmente el volumen de material removido con maquinaria en el sector final del tramo 87 y retirado con maquinaria, fue comparativamente mayor que el removido en todos los tramos anteriores.

Finalmente, es importante mencionar que los maxisacos con material contaminado fueron retirados por la empresa Soluciones Ambientales del Norte S.A., debidamente autorizada.

**Resultado Esperado 2.3: Minimizar la perturbación de la fauna silvestre, acuática y terrestre en Quebrada Blanca, Choja y Maní, durante las actividades de limpieza de hidrocarburos, por ruido y presencia de gente.**

#### **Acción 2.3.1 Capacitación al personal en el retiro y limpieza de hidrocarburos**

Esta Acción establece la realización de una capacitación a todo el personal participante en el retiro y limpieza de hidrocarburos, sobre la fauna presente en el lugar y la forma de minimizar los efectos negativos sobre ellos.

En cumplimiento a esta Acción, durante las labores de limpieza de los tramos 33 a 87, el personal que ejecutó las labores de limpieza y retiro de material, fue capacitado diariamente por Fundación Chile respecto a la forma de llevar a cabo los trabajos en cada uno de los tramos involucrados.

Adicionalmente, personal de Fundación Chile realizó una jornada de capacitación durante la mañana del día 16 de abril 2013, la cual se denominó "Inducción Ambiental Proyecto "Derrame de Hidrocarburos Quebradas Blanca, Choja y Maní Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A"". "

Para esta sesión especial de capacitación, y en cumplimiento del supuesto contemplado en la acción 2.3.1, el día 12 de abril de 2013 se ingresó una invitación a la SMA en sus oficinas de Santiago.

Los detalles de la ejecución de la Acción se presentaron ante esta SMA mediante Reporte Final entregado con fecha 30 de mayo de 2013, en el cual constan mayores antecedentes respecto a la realización de las tareas correspondientes a esta Acción.

De acuerdo a lo anterior, se dio cumplimiento a la **Meta Parcial** de 100% de los trabajadores que participaron en el retiro y limpieza de hidrocarburos sobre la fauna presente en el lugar de las labores de limpieza y la forma de minimizar los efectos negativos sobre ellos, siendo el **Indicador** del cumplimiento de esta Meta el siguiente:  $(N^{\circ} \text{ Trabajadores Capacitados} / N^{\circ} \text{ Total de Trabajadores participantes}) * 100 = (24 \text{ trabajadores capacitados} / 24 \text{ trabajadores en total}) * 100 = 100\%$ . Esta Acción establece la realización de una capacitación a todo el personal participante en el retiro y limpieza de hidrocarburos, sobre la fauna presente en el lugar y la forma de minimizar los efectos negativos sobre ellos.

**Resultado Esperado 3.1: Reponer la recarga hídrica de al menos 5 l/s, asegurando su calidad para potenciar la vegetación azonal en la comunidad 23.**

#### **Acción 3.1.1 Limpieza de la PTAS y sistema de conducción asociados**

En una primera visita de inspección, realizada el día 2 de febrero 2013, se constató cualitativamente que el nivel de limpieza efectuado en algunas de las etapas del proceso de la PTAS no era adecuado, por lo cual se solicitó realizar una intensiva etapa de lavado. Con posterioridad a esta primera inspección se realizaron inspecciones periódicas para verificar las labores y avances de limpieza.

Una vez terminada la etapa de lavado solicitada y con el fin de corroborar que la limpieza se hubiese ejecutado adecuadamente, se monitoreó el agua a la salida de la PTAS a través de 4 campañas realizadas los días 10, 16, 22 y 27 de Marzo para analizar los siguientes parámetros: Aceites y Grasas, Hidrocarburos fijos, Hidrocarburos totales, Hidrocarburos volátiles, Plomo y Vanadio.

En ninguna de las campañas realizadas se detectó la presencia de hidrocarburos en el efluente de la PTAS e incluso, los parámetros relacionados con hidrocarburos (plomo y vanadio) se mantuvieron siempre bajo el límite de detección de las técnicas de medición y por ende, bajo los límites máximos exigidos por el Decreto Supremo 90/2000 MINSEGPRES.

De esta manera, se dio cumplimiento a la **Meta Parcial**, consistente en el 100% de la Limpieza de la PTAS y del sistema de conducción asociado, certificados por la entidad que realizó la limpieza, la

cual debe poseer experiencia comprobable. El **Indicador** utilizado fue el porcentaje de limpieza certificada.

De acuerdo a lo anterior, y tomando en cuenta los resultados de las inspecciones visuales realizadas, Fundación Chile certificó que la PTAS y sus sistemas de conducción asociados se encuentran limpios y sin presencia de hidrocarburos.

En este contexto, el día 24 de abril 2013 Fundación Chile extendió un certificado de limpieza de la PTAS, señalando que ésta cumple con los parámetros relacionados con hidrocarburos establecidos en el Decreto Supremo 90/2000 MINSEGPRES.

Los detalles de ejecución de esta Acción fueron presentados ante esta SMA en Reporte Final con fecha 30 de abril de 2013.

### **Acción 3.1.2 Instalación de nueva tubería de descarga desde la PTAS hacia Quebrada Blanca**

En el contexto de la obligación de Reponer la recarga hídrica de al menos 5 l/s, asegurando su calidad para potenciar la vegetación azonal en la comunidad 23, CMTQB S.A. comprometió, por medio de la Acción 3.1.2, la instalación de una nueva tubería de descarga desde la PTAS a la Quebrada Blanca, de características similares a la anterior.

Para estos efectos, la Compañía contrató los servicios de Jesmin Ltda., la cual procedió a realizar la instalación del nuevo tendido eléctrico desde las instalaciones de la PTAS al punto de descarga en la Quebrada Blanca.

El detalle de las labores, las características de la tubería y su trazado, constan en el Reporte Final acompañado a esta SMA con fecha 30 de mayo de 2013. Cabe precisar que las labores fueron finalizadas y certificadas con anterioridad al 30 de abril de 2013, plazo de ejecución comprometido en la misma Acción.

De este modo, se dio íntegro cumplimiento a la **Meta** de la Acción 3.1.2 (Instalación de la nueva tubería), en relación al **indicador propuesto** (Certificación de empresa a cargo de las labores de instalación de tubería).

### **Acción 3.1.3 Muestreo de los parámetros establecidos en la Tabla N° 1 del D.S. N° 90**

Como se reportó en el Informe de Cumplimiento de la Acción 3.1.3. que se ingresó a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) con fecha 30 de agosto de 2013, CMTQB S.A. llevó a cabo muestreos de los parámetros establecidos en la Tabla N°1 del D.S. N°90/2000, con una frecuencia semanal, desde el 15 de junio de 2013 y por un periodo de 2 meses, hasta el Jueves 29 de agosto de 2013.



El muestreo se complementó con el análisis adicional de los parámetros HC Totales, HC Volátiles y Vanadio, comprometido en la acción 3.1.1. vinculada con la limpieza de restos de hidrocarburos que con motivo de la contingencia alcanzaron la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS).

En la tabla 1 se detallan las fechas en que se realizaron las tomas de muestras correspondientes.

<b>Monitoreo</b>	<b>Fecha</b>
1	15-jun-13
2	21-jun-13
3	27-jun-13
4	04-jul-13
5	11-jul-13
6	19-jul-13
7	25-jul-13
8	01-ago-13
9	08-ago-13
10	14-ago-13
11	22-ago-13
12	29-ago-13

Tabla 1. Fechas de cada campaña de muestra.

Tanto la toma de muestras como el análisis de la mismas fue realizado por personal del Laboratorio CESMEC, entidad debidamente acreditada en el Sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de Normalización (INN) en el área físico-química para aguas residuales, acreditación vigente hasta el 14 de agosto de 2016 (Acreditación LE 751).

Atendido el tiempo que el Laboratorio tarda en remitir los informes, al 30 de agosto se proporcionaron los resultados de las campañas de muestreo 1 a 9. A esta fecha, se cuenta con el informe de resultados de la campaña 10, que corresponde a la toma de muestras realizada el 14 de agosto de 2013. En Anexo 3 se acompaña Informe Complementario Cumplimiento Acción 3.1.3.

El Informe de la campaña 10 (Informe de Muestreo y Ensayos IAG-17336 sobre muestreo de fecha 14 de agosto de 2013) permite confirmar el positivo desempeño de la PTAS, en tanto todos los parámetros medidos están conforme a la norma. Atendido las labores de limpieza de hidrocarburos y recuperación de los lodos activados, el desempeño de la PTAS ha experimentado una mejora progresiva y constante desde los inicios de su funcionamiento. Lo anterior es inherente a un sistema de tratamiento cuyas instalaciones fueron alcanzadas por el derrame de hidrocarburos y debieron ser objeto de acciones de limpieza y de reparación. No obstante lo

anterior, la oportuna implementación de medidas correctivas y vigilancia constante han permitido alcanzar los resultados que se muestran en este Informe de la campaña 10.

En suma, los resultados de los parámetros de Vanadio e Hidrocarburos Totales y Volátiles permiten confirmar que la limpieza ha sido efectiva y que la PTAS no ha vuelto a descargar Hidrocarburos por cuanto todos los valores están bajo norma.

Con relación al funcionamiento de la PTAS, los resultados evidencian una mejora progresiva en el desempeño de esta instalación. Las acciones de muestreo junto con rápidas medidas correctivas han permitido mantener e incrementar el desempeño de la PTAS. Al respecto, destacamos haber delegado la gestión operacional de la PTAS a una empresa experta, haber invertido USD \$100.000 en mejoras a la PTAS, la inoculación con Lodos y la supervisión constante por personal de Disal. Todas estas actividades han permitido tener un manejo, operación y seguimiento de las variables de funcionamiento de la PTAS y su efluente.

#### **Acción 3.1.4 Reponer caudal comprometido en RCA**

La Acción 3.1.4 consistió en la reposición del caudal comprometido en la RCA N° 59/1998, con un plazo de ejecución al día 30 de agosto de 2013 y con una meta del 90% de los promedios diarios de las mediciones registradas por el caudalímetro con un mínimo de 5 l/s, estipulándose reportes periódicos quincenales a partir del 15 de junio y un Reporte Final que sería entregado en conjunto a este Informe Final de Cumplimiento.

Adicionalmente, la referida Acción consideraba en sus supuestos el cumplimiento previo de las acciones 3.1.1 y 3.1.2 del Plan de Acciones y Metas y que no existieran fenómenos naturales u otras causas justificables que impidan efectuar la actividad, caso en el cual se informaría a la SMA solicitando un nuevo plazo para retomar su ejecución.

En este contexto, con fecha 28 de junio de 2013, se solicitó a esta Superintendencia se tuviera presente las extremas condiciones climáticas ocurridas durante del mes de junio de 2013 en el área del proyecto, las cuales imposibilitaron el cumplimiento íntegro de la Acción 3.1.3. en los plazos inicialmente señalados. Se argumentó que tal situación generó problemas operacionales del sistema de líneas y bomba y en las condiciones para efectuar las reparaciones necesarias para efectuar la descarga a la Quebrada. Adicionalmente, se solicitó a la SMA que otorgara un nuevo plazo para retomar el cumplimiento de la referida Acción.

En consecuencia de lo anterior, la SMA procedió a dictar su Ord. U.I.P.S N° 450 de fecha 23 de julio de 2013, en cuyo punto 5 estimó como pertinente otorgar un nuevo plazo para el cumplimiento de la Acción 3.1.4. Es decir, hasta el 30 de agosto de 2013.

De esta forma, una vez que finalizaron los trabajos para contar con la reposición continua del caudal de recarga comprometido en la RCA N° 59/1998, se logró satisfactoriamente la meta

contemplada en Acción 3.1.4. En el Reporte Final de la Acción, el cual se acompaña en Anexo 4, en donde constan los detalles de los trabajos ejecutados.

En efecto, desde dicha fecha se ha contado con un **flujo diario promedio superior a 5 l/s por medio de las aguas tratadas proveniente de la PTAS**, lo que puede visualizarse en la planilla que es acompañada en el Reporte Final de la Acción 3.1.4., entregada a esta SMA en esta misma fecha.

De este modo, se dio íntegro cumplimiento a la **Meta** planteada para la Acción 3.1.4, registrando desde el 31 de agosto hasta el 11 de septiembre, 12 promedios diarios de las mediciones registradas por el caudalímetro, las cuales superaron un mínimo de 5 l/s. Lo anterior considerando el **indicador**: Número de registros de promedio diario de caudal registrado por caudalímetro en punto de descarga igual o mayor a 5 l/s / Número total de registros promedio diario.

Cabe precisar que previo al cumplimiento de la Acción 3.1.4 se verificaron satisfactoriamente las Acciones 3.1.1 y 3.1.2., consistentes en la limpieza de la PTAS y del sistema de conducción asociado y en la Instalación de nueva tubería de descarga de la PTAS, de características similares a la anterior, supuestos necesarios cumplir antes de iniciar la recarga del caudal a la Quebrada Blanca por medio de aguas tratadas de la PTAS.

Asimismo, se cumplió con los Reportes Periódicos de frecuencia quincenal a contar del 15 de Junio, los cuales fueron entregados a esta Superintendencia en los plazos comprometidos, que pusieron en conocimiento del avance del proceso de puesta en marcha de la recarga hídrica comprometida en la RCA N° 59/1998.

**Resultado Esperado 3.2: Asegurar la minimización de impactos sobre Flora y Vegetación en tanto no se reponga la recarga hídrica comprometida.**

#### **Acción 3.2.1 Riego de salvataje en las zonas con presencia de vegetación azonal, entre el punto de la descarga de la PTAS y la comunidad 23 incluida.**

Con el fin de mitigar los efectos que pudieran ser ocasionados por la suspensión del riego comprometido en la RCA N°59/1998 mientras las labores necesarias para retornar la recarga hídrica desde la PTAS fueran realizadas, CMTQB S.A. se comprometió en la Acción 3.2 a la mantener un riego de salvataje diario en las zonas con presencia de vegetación azonal entre el punto de descarga de la PTAS y la comunidad 23 incluida, por medio de un camión aljibe de 20.000 litros al día, acción a ser realizada desde el día 1 de mayo y hasta que se verifique la Acción 3.1.4. Es decir, hasta el 30 de agosto de 2013.

En ese contexto, con fecha 1 de mayo de 2013, la Compañía procedió a iniciar el riego de salvataje por el período comprometido. Para estos efectos se contrató los servicios de la empresa externa



Ingedemin Ltda. Esta circunstancia fue informada en escrito presentado por CMTQB S.A. a la SMA con fecha 15 de julio de 2013.

Posteriormente la SMA por medio de su Ord. U.I.P.S N° 450 de fecha 23 de julio de 2013, específicamente en el punto 5.1 ordenó que, en cuanto a la Acción 3.2.1 consistente en el riego de salvataje, la Compañía debería continuar con su ejecución hasta que no se reponga la recarga hídrica comprometida (Acción 3.1.4), es decir hasta el 30 de agosto de 2013.

De esta forma, desde el 1 de mayo fue realizado el riego de salvataje comprometido, con excepción de aquellos días en que su ejecución no fue posible en consideración a las extremas circunstancias climáticas del área de la faena, por razones de salud y seguridad de los trabajadores o por razones de imposibilidad de acceso debido a la acumulación de nieve en el área.

Sin perjuicio de lo anterior, la Compañía mantiene temporalmente los servicios contratados para el riego a la Quebrada Blanca por medio de un camión aljibe de 20.000 litros, en el supuesto que por causas de fuerza mayor, caso fortuito o problemas operacionales no fuese posible realizar el riego por medio de las aguas tratadas desde la PTAS.

Se adjuntan en el **Anexo N° 5** del presente informe, planilla de riego diaria de los camiones aljibes de 20.000 litros.

En consideración a lo expuesto, se ha dado integro cumplimiento a la **Meta Parcial** planteada en Acción 3.2.1 (humectación de la zona con un camión aljibe de 20.000 litros/día), en relación al **Indicador** propuesto (un camión de aljibe al día/ número total de días que no hubo recarga hídrica (desde el 01 de mayo hasta implementación de Acción 3.1.4, es decir hasta el 30 de agosto de 2013).

**Resultado Esperado 3.3: Asegurar la minimización de impactos sobre la fauna en tanto no se reponga la recarga hídrica comprometida.**

#### **Acción 3.3.1 Instalación de 10 bebederos artificiales en los sectores sin escurrimiento natural de aguas, desde el punto de descarga de la PTAS**

Para efectos de otorgar una alternativa de abastecimiento de agua a la fauna del sector, CMTQB S.A. comprometió en la Acción 3.3.1 a la instalación de 10 bebederos en los sectores sin escurrimiento de agua natural, partiendo desde el punto de descarga de la PTAS. Estos bebederos son de 3 tipos: i) bebedero a ras de suelo para micromamíferos; ii) bebederos con perchas para aves; y iii) bebederos de 100 litros para macromamíferos.

En ese contexto, se procedió a la instalación de los bebederos comprometidos por parte de la empresa Ingedemin Ltda., según consta en la presentación realizada a esta Superintendencia con

fecha 1 de julio de 2013. La instalación consistió en 10 estaciones, con 3 tipos de bebederos cada una.

Adicionalmente se procedió a verificar diariamente el nivel de agua disponible en ellos, efectuándose una recarga y cambio de agua de todos los bebederos dos veces por semana en la medida que esto fuera posible, en consideración a las condiciones climáticas., Asimismo, se indicaron las coordenadas de ubicación de las estaciones iniciales junto a las fotografías de cada tipo de bebedero. En dicha presentación se acompañó registro de recarga de los bebederos.

Posteriormente la SMA con fecha 23 de julio de 2013, procedió a dictar el Ord. U.I.P.S N° 450, en cuyo punto 5.2, señaló que en cuanto a la Acción 3.3.1, consistente en instalación de 10 bebederos, la Compañía debería continuar con su ejecución hasta que se reponga la recarga hídrica comprometida (Acción 3.1.4); Es decir hasta el 30 de agosto de 2013. Asimismo dispuso, con la finalidad de aumentar su efectividad, que los tres tipos de bebederos deberían, en adelante, ser separados según el tipo de taxa de destino de uso, distanciándolos entre sí, de modo tal que las distintas especies no se interfieran unas a otras cuando procedan a beber.

En consideración a lo anterior, el día 28 de julio del 2013, se realizó la separación de los tipos de bebederos de acuerdo a lo solicitado en ORD.U.I.P.S. N° 450. La labor consistió en reubicar los bebederos existentes en los sectores sin escurrimiento natural de aguas, partiendo desde el punto de descarga de la Planta de Tratamientos de Aguas Servidas (PTAS) por la Quebrada Blanca. Se instalaron 3 tipos de bebederos cada 400 metros, agregándose 4 más a los ya instalados, completando de esa forma un total de 34 bebederos.

En **Anexo N° 6** de esta presentación, se acompaña registro de la recarga. Asimismo, en el **Anexo N° 7** se presenta, por medio de una tabla, tipo y la ubicación de los bebederos con coordenadas UTM, Datum WGS 84, junto con la fotografía de cada uno de éstos.

En consideración a lo expuesto, es posible constatar el cumplimiento y superación de las **Metas Parciales** planteadas para la Acción 3.3.1, de instalación de 10 bebederos instalados y de verificación del volumen de agua disponible, recargando los bebederos cuando sea necesario; lo anterior en relación a los **Indicadores** propuestos, a saber: número de bebederos instalados (34) y el número de recargas de bebederos realizadas (2 por semana).

Es posible apreciar, asimismo, el cumplimiento de estas medidas en tiempo y forma en el Reporte Final entregado a esta SMA con fecha 1 de julio de 2013<sup>3</sup>, en el que consta un registro fotográfico georreferenciado.

---

<sup>3</sup> Por cuanto el día comprometido en el Programa, 30 de Junio de 2013, era domingo, este Reporte fue entregado al día siguiente hábil.

Respecto al **Resultado Esperado 4.1: Mejorar los sistemas de gestión ambiental a fin de prevenir la ocurrencia de un nuevo incidente ambiental**

#### **Acción 4.1.1 Capacitación de personal**

Con el fin de capacitar a los trabajadores de la Compañía en procesos de respuesta a contingencias ambientales que pudiesen suscitarse en el futuro, la Compañía se comprometió, por medio de la Acción 4.1.1 a la capacitación del 70% del personal en procesos de repuesta a emergencias ambientales, tarea realizada con la colaboración de una entidad con experiencia en la materia. El plazo para la ejecución de esta Acción se fijó hasta el día 30 de junio de 2013.

A fin de dar cumplimiento a la Acción señalada, CMTQB S.A. solicitó la asesoría de la consultora internacional Environmental Resources Management (“ERM”), quien puso a disposición de la Compañía a especialistas ambientales y de seguridad de larga trayectoria en asesoría a empresas mineras.

De esta forma, a finales del mes de Junio se constató que fueron capacitados 1260 trabajadores, lo cual significa que se alcanzó un 76% de los trabajadores de la Compañía, considerando que según certificado emitido por el área de Recursos Humanos de la Compañía con fecha 3 de junio, a esa fecha la Compañía contaba con 1691 trabajadores.

En ese contexto se dio cumplimiento a la **meta** planteada en la Acción 4.1.1 (70% del personal capacitado), en relación al **indicador** propuesto (N° de trabajadores capacitados 1260/ número de trabajadores existentes, 1691).

Por su parte, se cumplió el supuesto estipulado en la acción, ingresándose con fecha 31 de mayo de 2013, la correspondiente invitación a la SMA para que tomara parte de la actividad.

Por último, se cumplió con los reportes periódicos de frecuencia mensual, los cuales fueron ingresados con fecha 3 de mayo, 3 de junio y 3 de julio todas de 2013. Este último dio cuenta del cumplimiento total de la Meta prevista para esta Acción de lograr un 70% del personal capacitado, dentro del plazo de ejecución estipulado, este es, el 30 de junio.

El Reporte Final, que contiene los detalles sobre la realización de esta Acción, fue entregado a esta SMA el día 30 de agosto de 2013, según lo estipulado en el Programa de Cumplimiento.

#### **Acción 4.1.2 Elaborar y difundir un tríptico con los procedimientos necesarios para informar los potenciales incidentes.**

Con el fin de mantener informados a los trabajadores de la Compañía respecto de los procedimientos necesarios para informar potenciales accidentes que pudieran suscitarse en el



futuro, la Compañía se comprometió, por medio de la Acción 4.1.2 a entregar trípticos informativos al menos el 80% de sus trabajadores. El plazo para la ejecución de esta Acción se fijó hasta el día 30 de junio de 2013.

A fin de dar cumplimiento a la Acción señalada, que contemplaba la colaboración de una entidad con experiencia en esta materia, CMTQB S.A. solicitó la asesoría de la consultora internacional Environmental Resources Management ("ERM"), quien puso a disposición de la Compañía a especialistas ambientales y de seguridad de larga trayectoria en asesoría a empresas mineras.

De esta forma, se elaboraron los trípticos con la información requerida y el día 27 de mayo comenzó la entrega de estos, proceso que concluyó el día 26 de junio. Al cierre del mes de junio se constató que el tríptico fue entregado a 1366 trabajadores, lo cual significa que la difusión del tríptico alcanzó un 81% de los trabajadores de la Compañía, considerando que según certificado emitido por el área de Recursos Humanos de la Compañía con fecha 3 de junio, a esa fecha la Compañía contaba con 1691 trabajadores.

En ese contexto se dio cumplimiento a la **Meta Parcial** planteada para la Acción 4.1.2; cobertura de al menos un 80% de entrega de tríptico, en relación al **indicador** propuesto; N° de trípticos entregados 1366/ N° de trabajadores existentes, 1691.

Con fecha 30 de agosto de 2013 se entregó a esta SMA el Reporte Final de la Acción en el que constan los detalles de su ejecución.

#### **Acción 4.1.3 Realizar un Simulacro HAZMAT**

La Compañía, por medio de la Acción 4.1.3, se comprometió a realizar un simulacro HAZMAT (contener potenciales accidentes) para probar la efectividad del Plan de Protocolo de Incidentes y Contingencias.

El simulacro HAZMAT, que en conformidad al Programa de Cumplimiento debía efectuarse antes del 30 de julio, fue realizado con fecha 24 de julio. Asimismo, se comprometió un Reporte Final de la Acción con fecha del 30 de agosto. Tanto el simulacro como el reporte final con los detalles de la ejecución de la Acción fueron realizados y entregados a la SMA dentro de los plazos establecidos.

Para estos efectos, la Compañía contrató los servicios de la consultora internacional Environmental Resources Management ("ERM") para diseñar y colaborar en el desarrollo de este simulacro, así como en la evaluación posterior del mismo. Esta consultora puso a disposición de CMTQB S.A especialistas ambientales y de seguridad de larga trayectoria en el asesoramiento a empresas mineras.

En definitiva, cabe señalar que con la realización del simulacro HAZMAT con fecha 24 de julio de 2013, se ha dado cumplimiento al **Indicador y la Meta Parcial** asociada contemplados en el

Programa de Cumplimiento para la Acción 4.1.3. consistiendo ambos en la realización del simulacro.

Respecto al **Resultado Esperado 4.2: Medidas operacionales implementadas para prevenir y asegurar que no vuelva a ocurrir un nuevo incidente ambiental**

**Acción 4.2.1 Proceso de certificación de instalaciones de combustibles de los Calentadores de Electrolito Planta (proceso de certificación SEC) para dar cumplimiento del D.S N° 160/2008:**

Con el fin de mantener regularizadas las instalaciones de combustible de los Calentadores Electrolito Planta según los estándares dispuestos en el D.S. N° 160/2008, CMTQB S.A. realizó una revisión interna de su documentación con el fin de determinar los estanques e instalaciones de combustible involucradas en la contingencia que contaban con certificación SEC y aquellos que carecían de las mismas.

En ese contexto, CMTQB S.A. se comprometió, por medio de la Acción 4.2.1, a iniciar y desarrollar el proceso de certificación de instalaciones de combustibles de los Calentadores de Electrolito Planta (proceso de certificación SEC) a fin de dar cumplimiento al D.S. N° 160/2008.

Con el fin de ejecutar a la mencionada acción, la Compañía adjudicó los servicios a la Sociedad Preventiva Ltda., empresa especialista en manejo seguro de combustibles, según consta en el Anexo N° 7 acompañado en el Programa de Cumplimiento presentado a esta SMA con fecha 11 de marzo de 2013.

Según la **Meta** asociada a la Acción 4.2.1 del Programa de Cumplimiento, se debía tener el 100% de las instalaciones comprometidas en proceso de certificación. De acuerdo a la documentación presentada con fecha 17 de marzo, CMTQB S.A dio inicio a la regularización de dichas instalaciones ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de la Región de Tarapacá, proceso que culminó con fecha 22 de agosto de 2013 por medio de la certificación SEC de las instalaciones de combustible de los Calentadores Electrolito Planta, otorgada por la misma autoridad.

En la referida Acción, la Compañía se comprometió a informar a la SMA - por medio de Reportes Quincenales- sobre el grado de avance del proceso de certificación de las instalaciones de combustible de los Calentadores Electrolito Planta. Al respecto, se acompañaron, dentro del plazo estipulado para ello, nueve informes en las siguientes fechas:

N° Informe	Fecha de presentación a la SMA
<b>1er informe</b>	18 de Abril de 2013
<b>2do informe</b>	3 de Mayo de 2013
<b>3er informe</b>	17 de Mayo de 2013
<b>4to informe</b>	3 de Junio de 2013

<b>5to informe</b>	18 de Junio de 2013
<b>6to informe</b>	3 de Julio de 2013
<b>7mo informe</b>	18 de Julio de 2013
<b>8vo informe</b>	5 de Agosto de 2013
<b>9no informe</b>	18 de Agosto de 2013

La Acción 4.2.1 dispuso como **Indicador** de cumplimiento el siguiente: (N° de las instalaciones en proceso de certificación/N° de instalaciones totales a certificar)\*100. A continuación, se presenta el detalle de las instalaciones que fueron sometidas al proceso de certificación SEC:

N°	Instalación	Descripción	N° Interno	Revestimiento	Capacidad de almacenamiento
1	Caldera de Planta	Tanque de almacenamiento	1	Lámina metálica y aislante térmico	100 m3
2	Caldera de Planta	Tanque de almacenamiento	2	Lámina metálica y aislante térmico	100 m3
3	Caldera de Planta	Tanque de uso diario	3	Lámina metálica y aislante térmico	5 m3
4	Líneas asociadas a tanques	Línea flexible de recepción de combustible		No aplica	No aplica
		Línea de descarga remota		Lámina metálica y aislante térmico	No aplica
		Línea de alimentación diaria		Lámina metálica y aislante térmico	No aplica
		Líneas alimentación caldera		Sin revestimiento	No aplica

En ese contexto, las 4 instalaciones nombradas (y los procesos asociadas a éstas) fueron sometidas al proceso de certificación SEC, culminando con la certificación del 100% de las instalaciones de Calentadores Electrolito Planta por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de la Región de Tarapacá, según los estándares del D.S. N° 160/2008.

Por su parte, con fecha 30 de agosto de 2013 y estando dentro del plazo comprometido en el Programa de Cumplimiento, CMTQB S.A. entregó a la SMA el Reporte Final comprometido en la



Acción 4.2.1, elaborado por la Sociedad de Servicios Preventiva Ltda., empresa experta en procesos de Certificación SEC y en manejo seguro de combustibles. Dicho Reporte describió el proceso de estandarización y actualización de las instalaciones según lo informado en los nueve informes quincenales entregados, señalados precedentemente, el cual culminó con la ya referida certificación otorgada por la SEC de Tarapacá.

Por último, con fecha 27 de agosto de 2013 se dio inicio al proceso de Certificación del circuito diésel que alimenta los Calentadores Electrolito Planta, ante la SEC de Tarapacá. La instalación que cuenta con un tanque menor de almacenamiento de 30.000 litros de capacidad y líneas de alimentación y retorno hasta los tanques ubicados en la "Planta de Generación".

Este proceso culminó con la certificación SEC de la instalación, con fecha 11 de septiembre de este año, según consta en documento que se adjunta en el **Anexo N° 8** de esta presentación.

En virtud de lo expuesto, CMTQB S.A. dio íntegro cumplimiento a la **Metas** dispuesta en la Acción 4.2.1 (100% de las instalaciones comprometidas en proceso de certificación) de acuerdo a los **Indicadores** propuestos (N° de instalaciones en proceso de certificación / N° de instalaciones totales a certificar)\*100. En este sentido, incluso se superó la meta planteada logrando la obtención de la certificación SEC de las instalaciones correspondientes.

#### **Acción 4.2.2 Instalación de Flujómetros**

Debido a la falta de información precisa y confiable en los flujos de petróleo que alimentan a las Calderas y Calentadores presentes en la faena Quebrada Blanca, la Compañía, por medio de la Acción 4.2.2 se comprometió a la instalación de flujómetros en los siguientes sistemas:

- Calentadores Electrolito Planta
- Calentadores de Refino
- Red de Calderas de Campamento

Con el fin de dar cumplimiento a la mencionada acción, CMTQB S.A. emitió la Orden de Compra N° 59845, la cual se adjuntó en el Anexo 7.2 del Programa de Cumplimiento presentado el 11 de marzo de 2013, con el fin de cubrir el número de flujómetros necesarios para las instalaciones mencionadas anteriormente.

De esta forma se procedió a la instalación, por parte de la empresa Marco Mining, de 15 flujómetros, los cuales se sumaron a los 10 ya existentes, cubriéndose el 100% de los flujómetros comprometidos en los sistemas de Calentadores Electrolito Planta, Caldera de Refino y Campamento. La instalación se ejecutó dentro del plazo establecido para tal acción; es decir, antes del 30 de junio de 2013.

Con fecha 30 de julio de 2013 se acompañó a esta SMA el Reporte Final de esta Acción con los detalles de su ejecución.

De esta forma se dio cumplimiento a la **Meta** planteada: 100% de flujómetros instalados en el sistemas de calentadores de electrolito planta, campamento, y refino, en relación al **Indicador** planteado: (N° de flujómetros instalados: 15 /N° flujómetros comprometidos en planta, campamento y refino: 15)\*100.

**Acción 4.2.3.: Fortalecimiento del Plan de Mantenimiento de las líneas de alimentación de combustible en Calentadores de Electrolito Planta y Calderas de Refino:**

Como se indicó en el Programa de Cumplimiento, los Calentadores de Electrolito Planta y Caldera de Refino, en conjunto con sus instalaciones asociadas, por ser equipos sometidos a desgastes por ciclos químicos y térmicos, requieren de un Plan de Mantenimiento con el fin de asegurar una operación segura y sustentable.

En ese contexto, CMTQB S.A. comprometió, por medio de la Acción 4.2.3, proceder al fortalecimiento del Plan de Mantenimiento de las líneas de alimentación de combustibles en Calentadores Electrolito Planta, Calderas de Refino.

De acuerdo a lo anterior, la Compañía dio inicio en abril de 2013, al Plan de Mantenimiento en todas las instalaciones comprometidas, trabajos que se mantienen a la fecha y se han proyectado hacia el futuro (años 2013 y 2014), con el fin de asegurar que los equipos operen de forma continua, segura y eficiente por lo periodos establecidos en el mismo Plan.

Asimismo se cumplió con los reportes periódicos que dieron cuenta de los avances de los trabajos, para lo cual se acompañaron a esta SMA ocho informes con una frecuencia quincenal, en las siguientes fechas:

N° Informe	Fecha de presentación a la SMA
<b>1er informe</b>	18 de Abril de 2013
<b>2do informe</b>	3 de Mayo de 2013
<b>3er informe</b>	17 de Mayo de 2013
<b>4to informe</b>	3 de Junio de 2013
<b>5to informe</b>	18 de Junio de 2013
<b>6to informe</b>	3 de Julio de 2013
<b>7mo informe</b>	18 de Julio de 2013
<b>8vo informe</b>	5 de Agosto de 2013

Por su parte, la Acción 4.2.3 dispuso como **Indicador** de cumplimiento a la meta: "(N° de líneas de combustible en proceso de mantención/ N° de líneas de combustible asociados a Calentadores

Electrolito Planta y Caldera de Refino) \* 100". A continuación, se presenta el detalle de las instalaciones que fueron sometidas al proceso de fortalecimiento de Plan de Mantenimiento, según lo comprometido en la referida Acción:

- i. Ciclo de mantenimiento preventivo bimensual, con una duración de 12 horas para las instalaciones Calentador 1 Planta, Calentador 2 Planta, Calentador 1 Refino, Calentador 2 Refino, Calentador 3 Refino.
- ii. Ciclo de mantenimiento preventivo semestral con una duración de 12 horas a instalación denominada Caldera Planta.
- iii. Ciclo semestral de inspección de líneas de alimentación y retorno de combustible de los Calentadores de Electrolito Planta y Calentadores de Refino.
- iv. Programa de inspección diaria de las líneas de alimentación y retorno de combustible de Calentadores de Electrolito Planta y Calentadores de Refino.
- v. Chequeo anual al estado interior de los calentadores y calderas, para analizar espesores y evaluar estado de tuberías por tratamiento de agua.
- vi. Cada dos años, se realizarán pruebas hidráulicas a Calentadores para asegurar su estado y operatividad por medio de un organismo autorizado.

Adicionalmente, se declaró que se realizaría un programa de overhaul a los Calentadores de Electrolito Planta y Calentadores de Refino, consistente en el cambio de los equipos existentes por equipos reparados en un periodo de 6 meses.

Como se señaló en los Informes Quincenales presentados a esta SMA, CMTQB S.A. sometió a mantenimiento el 100 % las instalaciones y programa de overhaul de los Calentadores Electrolito Planta, Caldera de Refino y Campamento, dando cumplimiento a la meta de la Acción 4.2.3 consistente en dar inicio del Plan de Mantenimiento de las líneas de alimentación.

Con fecha 30 de agosto de 2013 se acompañó a esta SMA el Reporte Final de esta Acción en el cual se detallan los antecedentes de esta Acción.



## 4 Costos

Respecto a los costos asociados a las acciones comprometidas en este Programa de Cumplimiento, debemos señalar que la estimación de costos inicial de M\$1.545.500 (mil quinientos cuarenta y cinco millones quinientos mil pesos) fue ampliamente superada. En este contexto, CMTQB S.A. procuró realizar todos los esfuerzos que fueron necesarios para dar cumplimiento a las acciones comprometidas.

Hasta finales del mes de agosto de 2013 los costos asociados a este Programa de Cumplimiento ascendieron a 2.531.029.002 (dos mil millones quinientos treinta y un mil millones veintinueve mil dos pesos), quedando aún pendiente el ingreso de algunos costos.

En tabla a continuación se presenta un breve detalle de los costos diferenciados por materias:

Resumen Gastos (CLP) cargados a CC408 - Derrame		
ITEM	CLP	USD*
Otras Consultorías y Servicios	2.031.886.572	4.015.586
Mantenimiento Contratado -Otro	244.562.025	483.324
Arriendo de Maquinarias y Equipo	13.772.429	27.218
Otros Materiales de Cargo Directo	111.215.121	219.793
Otros Gastos	555.188	1.097
Cañerías y Fittings Metálicas	179.883	356
Membranas	16.818.899	33.239
Otros Materiales de Stock	26.414.156	52.202
Pasajes y Gastos de Viajes Nacionales	3.142.624	6.211
Gastos Legales - Notariales	81.395.276	160.860
Repuestos Mecánicos Equipos	1.086.827	2.148
<b>TOTAL</b>	<b>2.531.029.002</b>	<b>5.002.034</b>
* Valor del Dólar estimado de 506 clp		

## 5 Conclusiones

A propósito del derrame de hidrocarburos proveniente del sistema de alimentación de combustible accesorio a los Calentadores Electrolitos Planta que alcanzó el sistema de alcantarillado y la PTAS y luego a las Quebradas Blanca, Choja y Maní, la SMA de acuerdo al ORD. U.I.P.S. N° 01/2013, formuló el siguiente cargo contra de CMTQB S.A.:

- “El incumplimiento de la condición establecida en los considerandos 4.2.2 y 4.2.3 de la Resolución Exenta N°59, de 18 de noviembre de 1998, de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Tarapacá que calificó ambientalmente favorable el proyecto ‘Botadero Norte de Ripios de Lixiviación.’”

La condición dispuesta en los considerandos 4.2.2 y 4.2.3 de la referida R.E N° 59/1998, consiste en realizar una recarga hidro artificial hacia la Quebrada Blanca mediante aguas **proveniente de la actual PTAS del campamento**, que se conduce desde dicha instalación, hasta un punto ubicado agua abajo del muro interceptor.

Producto de lo anterior, CMTQB S.A. de acuerdo al artículo 42 de la Ley N° 20.417 Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente y los artículos 6 y siguientes del D.S. N° 30, del Ministerio del Medio Ambiente, presentó a consideración de la SMA un Programa de Cumplimiento, con el fin de ponerse en cumplimiento de la normativa ambiental y en específico de los considerandos 4.2.2 y 4.2.3 de la R.E N° 59/1998. El Programa de Cumplimiento fue aprobado por la SMA a través del Ordinario U.I.P.S N° 74 de fecha 02 de abril de 2013.

En consideración a lo anterior, y en virtud de expuesto en el presente Reporte Final de Cumplimiento, es posible apreciar que CMTQB S.A. ha velado por el cumplimiento de los compromisos contemplados en este Programa de Cumplimiento, dando ejecución a las Acciones estipuladas dentro de los plazos propuestos.

A continuación se presenta una tabla resumen de las Acciones del Plan de Acciones y Metas que fueron ejecutadas satisfactoriamente por la CMTQB S.A.

Acción	Cumplimiento
1.1.1. Limpieza a través del retiro de material contaminado	✓
1.1.2 Recorrido 87 tramos	
1.1.3 Toma Mensual Muestras agua superficial	
1.2.1 Limpieza vegetación con presencia visual hidrocarburos	✓
1.2.2 Recorrido 87 tramos	
1.2.3 Trasplante y Relocalización de especies	
1.3.1 Limpieza de ejemplares de fauna con presencia visual de hidrocarburos	✓
1.3.2 Recorrido 87 tramos	
1.3.3 Relocalización de especies de fauna en caso necesario	

1.4.1 Limpiar 100% de los 87 tramos	✓
1.4.2 Recorrido 87 tramos	
1.4.3 Toma de muestra de suelos post limpieza	
2.1.1 Instalación mallas raschel y material absorbente durante acciones de limpieza	✓
2.1.2 Toma de muestra mensual de aguas superficiales	
2.2.1 Priorizar limpieza manual y utilización de mulas	✓
2.3.1 Capacitación al personal participante en las labores de limpieza	✓
3.1.1 Limpieza PTAS y sistema de conducción asociado	✓
3.1.2 Instalación de nueva tubería de descarga desde la PTAS hacia Quebrada Blanca	
3.1.3 Muestreo de los parámetros establecidos en la Tabla N° 1 del D.S. 90	
3.1.4 Reponer caudal comprometido en RCA	
3.2.1 Riego de salvataje en las zonas con presencia de vegetación azonal	✓
3.3.1 Instalación de 10 bebederos artificiales	✓
4.1.1 Capacitación de personal en procesos de respuesta a emergencias ambientales	✓
4.1.2 Elaborar y difundir un tríptico con los procedimientos	
4.1.3 realizar un simulacro HAZMAT	
4.2.1 Proceso de certificación de instalaciones	✓
4.2.2 Instalación de flujómetros	
4.2.3 Fortalecimiento del Plan de Mantenimiento de las líneas de alimentación de combustible en Calentadores de Electrolito Planta y Calderas de refino	

De esta forma, con un gran esfuerzo de un grupo de profesionales internos de la Compañía, así como de sus asesores externos, y superando las dificultades que plantea el trabajo en una faena minera ubicada a gran altitud geográfica (4.500 m.s.n.m.), en que las condiciones climáticas - especialmente durante los meses de ejecución de este programa- son particularmente severas (viento, bajas temperaturas, caída de nieve y falta de humedad relativa en el aire) y habiendo experimentado la inexperiencia propia de ser el primer Programa de Cumplimiento en ejecución en nuestro país, se han cumplido de forma oportuna y eficaz los objetivos propuestos ante el incidente ocurrido.

En este contexto, ante la finalización de las Acciones de este Programa de Cumplimiento, es posible señalar que desde un punto de vista ambiental su ejecución ha resultado adecuado, eficaz y satisfactorio.



## **6 ANEXOS**

Anexo 1. Certificado de limpieza de Quebradas Blanca, Choja y Maní, emitido por Fundación Chile con fecha 09 de septiembre de 2013.

Anexo 2. Informe Técnico: Análisis de Resultados Analíticos del Plan de Muestreo Confirmatorio de Sedimentos, elaborado por Fundación Chile.

Anexo 3. Informe Complementario Cumplimiento Acción 3.1.3

Anexo 4: Reporte Final de la Acción 3.1.4: Reponer caudal comprometido en RCA N°59/1998

Anexo 5. Planilla de riego diaria de camiones aljibes de 20.000 litros.

Anexo 6. Registro de Recarga de Bebederos.

Anexo 7. Tabla ubicación de bebederos (bajo coordenadas UTM Datum WGS 84)

Anexo 8. Certificación SEC: instalación de circuito diésel que alimenta los Calentadores Electrolito Planta.

( )

( )

(

0

( )

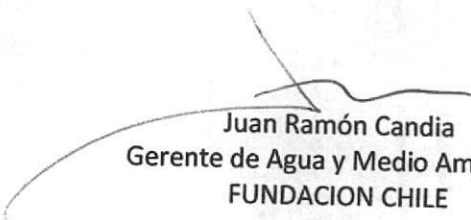
(

Santiago, 09 de Septiembre de 2013

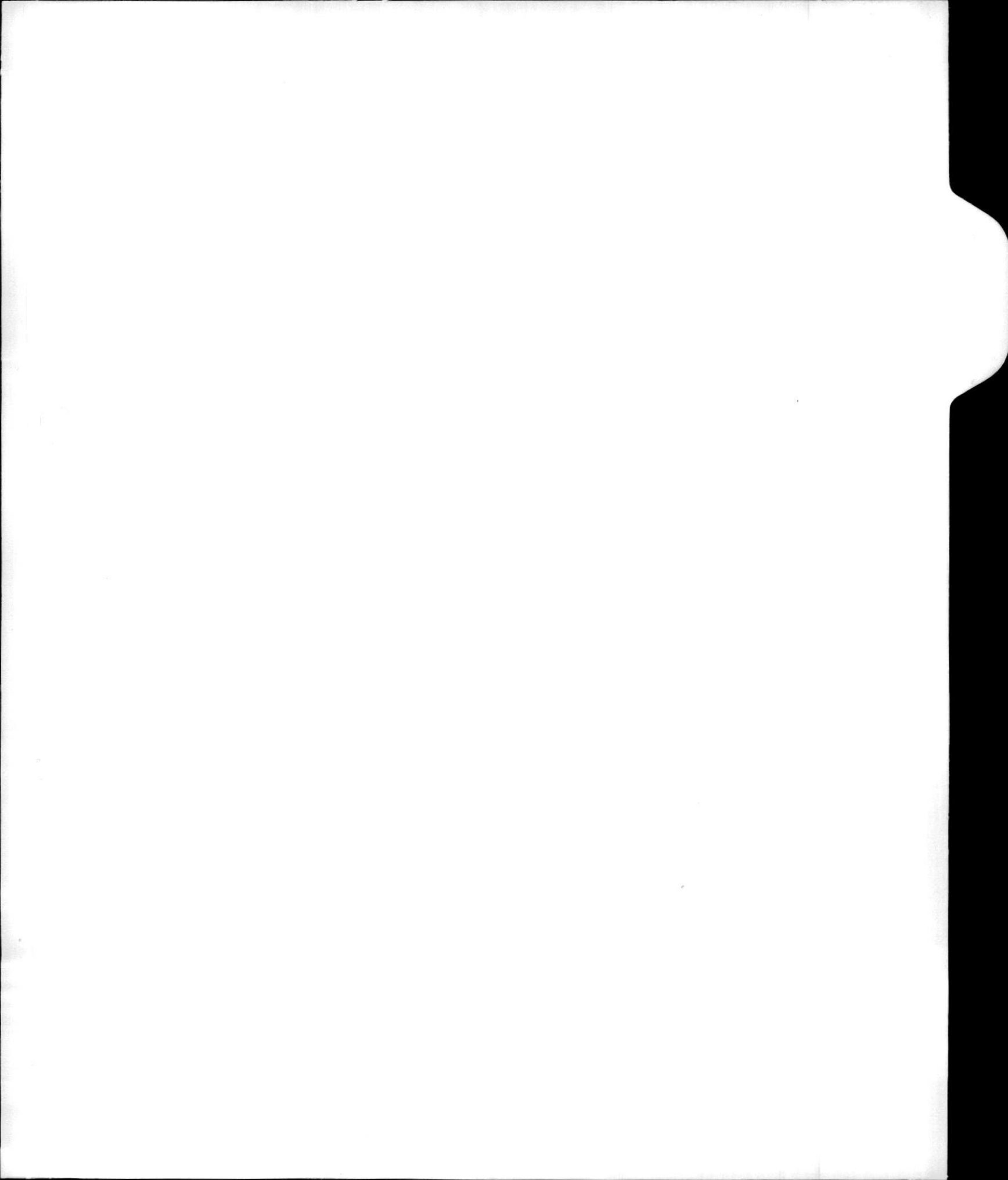
Fundación Chile, a través de su Gerencia de Agua y Medio Ambiente, certifica que la limpieza realizada por la Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A. (CMTQB S.A.) a los 87 tramos asociados al sector Quebrada Blanca, Las Cascadas y Quebrada Maní/Choja, se realizó en forma efectiva y oportuna, logrando los siguientes "resultados esperados" comprometidos en Programa de Cumplimiento aprobado por la Superintendencia de Medio Ambiente:

- 100% de los suelos y sedimentos con concentraciones de hidrocarburos (HC) por bajo los valores de referencia aprobados por la SMA.
- 100% de las aguas superficiales sin presencia de HC.
- 90% de la flora y vegetación sin presencia de HC.
- 100% de fauna en las quebradas sin presencia de HC.

Los antecedentes específicos asociados al proceso de limpieza se consignan en los Informes: **Labores de Limpieza de los Tramos y Flora, Fauna y Vegetación de los Sectores Las Cascadas y Quebrada Choja/Maní**, de fecha 30 de Mayo del 2013, e **Informe Muestreo de Aguas Superficiales del Plan de Cumplimiento**, de fecha 30 de Agosto 2013. Ambos adjuntos al presente certificado.

  
Juan Ramón Candia  
Gerente de Agua y Medio Ambiente  
FUNDACION CHILE

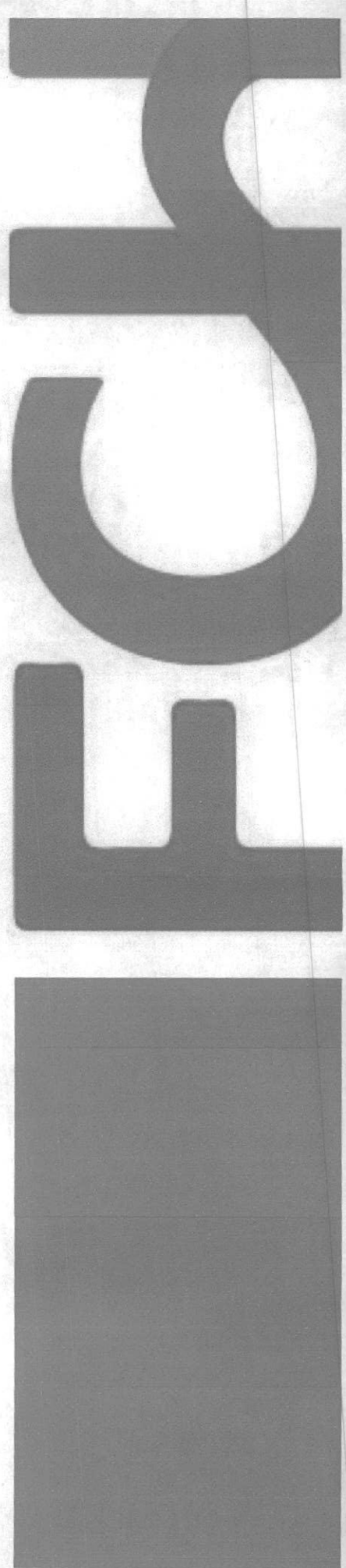




**Informe Técnico**

**Análisis de Resultados Analíticos del Plan  
de Muestreo Confirmatorio de  
Sedimentos**

29 de Agosto, 2013



## Tabla de Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Procedimiento General de Toma de Muestras de Suelos/Sedimentos</b> .....	<b>4</b>
2.1	Diseño y Ejecución Plan de Muestreo .....	5
2.2	Protocolo de Muestreo de Sedimentos .....	7
<b>3</b>	<b>Colección o Toma de Muestras</b> .....	<b>8</b>
3.1	Sector Quebrada Blanca.....	8
3.2	Sector Las Cascadas.....	10
3.3	Sector Quebrada Choja/Maní .....	11
3.4	Mantenimiento de la cadena de Frío.....	12
<b>3.</b>	<b>Análisis de Resultados</b> .....	<b>13</b>
3.5	Alcances de los Valores de Referencia de la Norma Canadiense .....	13
3.6	Comparación de Resultados Analíticos con Norma Canadiense para la protección de Vida Acuática en Sedimentos.....	15
3.6.1	PAH .....	15
3.6.2	TPH .....	22
3.7	Caracterización de Tramos con Presencia de Hidrocarburos.....	22
3.8	Comparación de Resultados Analíticos con Norma Canadiense para Calidad de Suelos..	24
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>27</b>
6.1	Anexo 1: Resultados Analíticos .....	27
6.2	Anexo 2: Coordenadas de las Muestras.....	28
6.3	Anexo 3: Cartografía Puntos de Muestreo.....	29



6.4	Anexo 4: Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)...	31
6.5	Anexo 5: Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Introduction.....	32
6.6	Anexo 6: Canadian Council of Ministers of the Environment.2010. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Carcinogenic and Other PAHs.	33
6.7	Anexo 7: Fotografías georeferenciadas de los tramos 19, 20 y tramos colindantes.....	33
6.8	Anexo 8: Informe Interpretación de Índices NDWI, NDVI, NDSI .....	39

## 1 Introducción

En el marco del Plan de Acciones y Metas contenido en el Programa de Cumplimiento presentado por Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A. (CMTQB S.A.), y aprobado mediante el Ord U.I.P.S N° 74 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), se define como Resultado Esperado 1.4: "Lograr el 100% de los Suelos y Sedimentos sin concentraciones de hidrocarburos por sobre los valores de referencia que se propondrán a la SMA".

Específicamente, se establece la acción 1.4.3 donde se especifica "una toma de muestras, en cada uno de los puntos representativos del total del área alcanzada por el derrame, para los siguientes parámetros: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH) e Hidrocarburos de Petróleo Total (TPH, por sus siglas en inglés)".

Con fecha 31 de julio de 2013, en cumplimiento del reporte final de la Acción 1.4.3, CMTQB S.A. presentó ante la SMA un documento denominado "Informe Técnico: Resultados Analíticos del Plan de Muestreo Confirmatorio de Sedimentos" elaborado por Fundación Chile.

En Anexo 1 del presente informe, se adjuntan los resultados analíticos obtenidos en CQA Laboratorios.

El presente informe contiene un análisis de los resultados obtenidos, de manera de sintetizar y facilitar la comprensión de éstos.

## 2 Procedimiento General de Toma de Muestras de Suelos/Sedimentos

El objetivo de la toma de muestras en suelos y sedimentos tiene por finalidad evaluar la efectividad de las acciones de limpieza llevadas a cabo en las quebradas afectadas por el derrame de hidrocarburos.

En cuanto a la extensión del derrame, la distancia que alcanzó el petróleo bunker que escurrió aguas abajo por las Quebradas Blancas, Choja y Maní, según lo informado por el equipo ambiental de CMTQB S.A., el Servicio Agrícola y Ganadero y el Acta de Constitución en Terreno del abogado suplente del Notario Titular don Enso González González, de las comunas de Huara, Pica y Pozo Almonte, de fecha 26 de febrero de 2013, es posible identificar las siguientes coordenadas geográficas que indican aproximadamente el punto final del derrame (tramo 87): 491.526 E/ 7667557 N<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Otras coordenadas aproximadas que se han medido: i) 491.404 E/7667550 N (CMTQB, 19 de Enero 2013, Datum WGS 84); y ii) 491.528E/7667560 N (Notario Mario Reveco, Febrero 2013, Datum WGS 84).

## 2.1 Diseño y Ejecución Plan de Muestreo

De acuerdo con la acción 1.4.3. del Plan de Acciones y Metas del Programa de Cumplimiento, una vez finalizada la limpieza del total del área afectada por el derrame de petróleo Bunker en las Quebradas Blanca, Choja y Maní, se procede a realizar un muestreo representativo del área afectada para evaluar la efectividad de los trabajos de limpieza realizados.

Para estos efectos, y en concordancia con lo resuelto por la SMA en el ORD. U.I.P.S. N° 138 con fecha 23 de abril 2013, se contempló el siguiente plan de muestreo:

- Toma de 2 muestras representativas por cada uno de los 87 tramos afectados por el derrame, siendo el último aquel que queda definido en su límite final por la coordenada informada por el SAG (491.526 E/ 7667557 N).
- Las 2 muestras anteriormente mencionadas corresponden a dos profundidades diferentes: A de 0-5 cm y B de 5-10 en aquellos sectores (Tramos 1 a 35) donde no se evidenció la infiltración o recubrimiento por sedimentos del hidrocarburo. Ahora bien, en aquellos tramos donde sí se observó infiltración o recubrimiento del hidrocarburo por sedimentos las 2 profundidades A y B muestreadas fueron de 0-10 cm y 10-20 cm respectivamente (Figura 2).
- Los puntos específicos de los muestreos se ubican en la ribera del cauce.
- Identificación de las coordenadas geográficas específicas de los puntos de muestreos representativos.

El diseño muestral confirmatorio de suelo/sedimentos se apoya fundamentalmente en la información recabada en terreno durante los trabajos de limpieza, que permite conocer la distribución horizontal y vertical de la contaminación.

De acuerdo a lo anterior, y en base a los trabajos de inspección y limpieza realizados, se dividió el área a muestrear en tres categorías, según el grado de afectación por la contaminación y características geológicas (Figura 1):



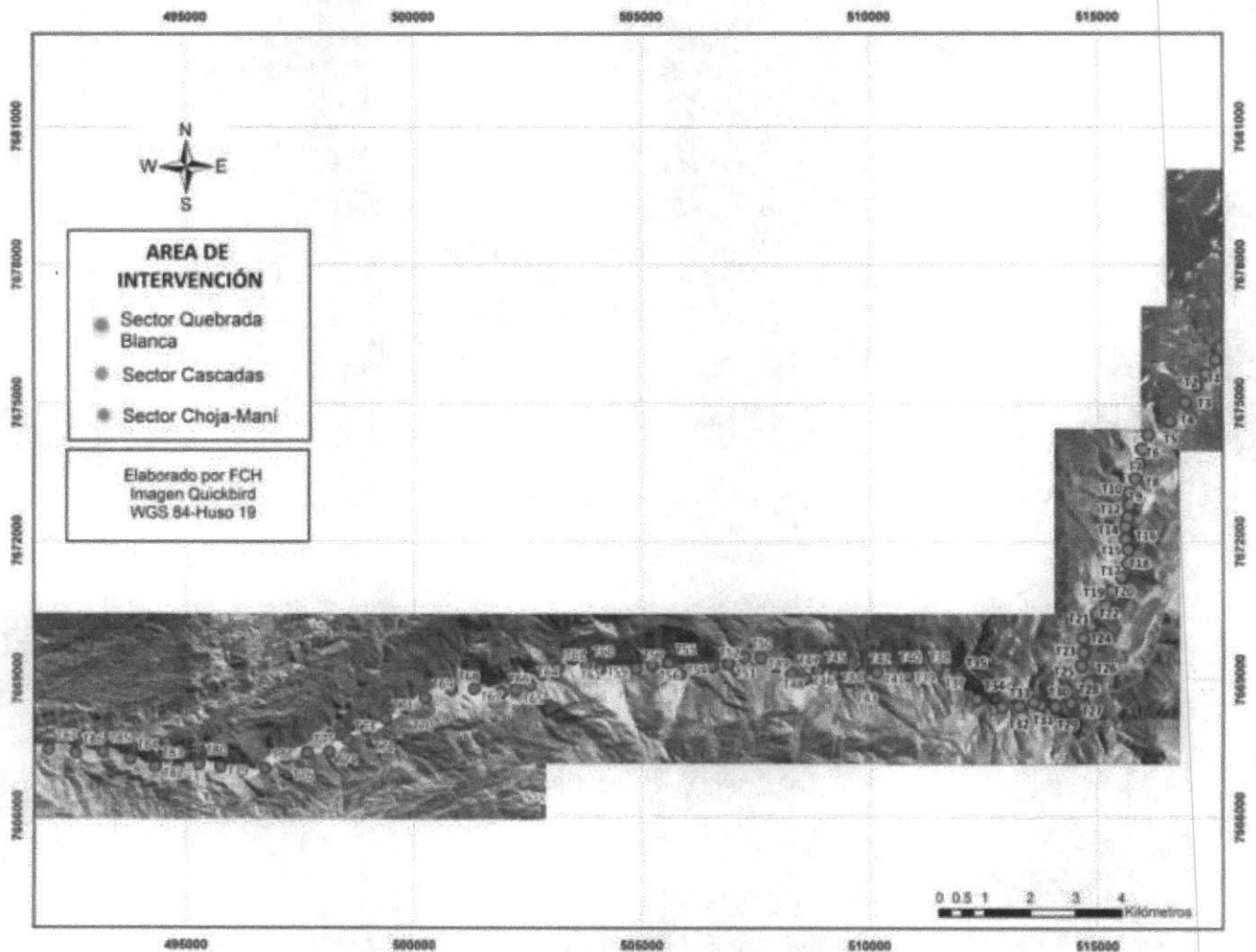


Figura 1. Puntos de Muestreo en los 87 Tramos

Las muestras fueron colectadas entre los días 11 y 13 de junio de 2013. Posteriormente, el día 14 de junio, fueron enviadas al Laboratorio CQA en Brasil que cuenta con la Certificación de la Entidad Nacional e Internacional correspondiente<sup>2</sup>. Las muestras fueron recibidas por el laboratorio a una temperatura de 4°C y los análisis de sedimento para PAH y TPH se realizaron

<sup>2</sup> Cabe precisar que el Laboratorio CQA – Centro de Calidad de Analítica Ltda. cuenta con la Certificación de la entidad técnica Coordenação General de Acreditação – CGRE, organismo signatario de los acuerdos de reconocimiento mutuo del International Laborator y Accreditation Cooperation (ILAC, [www.ilac.org](http://www.ilac.org)) y del Interamerican Accreditation Cooperation (IAAC, [www.iaac.org.mx](http://www.iaac.org.mx)). El Instituto Nacional de Normalización (INN) es miembro de IAAC, desde su fundación en 1996; participa en el Foro Internacional de Acreditación, IAF; y en la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios, ILAC. Estas organizaciones establecen y difunden los criterios comunes de evaluación de la conformidad y promueven la realización de acuerdos de reconocimiento entre los organismos nacionales de acreditación del mundo. Pacific Rim Laboratories Inc. por su parte cuenta con la certificación Canadian Association for Laboratory Accreditation Inc. (CALA) que certifica conformidad con los requerimientos ISO/IEC 17025.

según los métodos EPA SW 846 8270D (Semivolatile Organic Compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)) y EPA SW 846 3500C (Organic Extraction and Sample Preparation).

## 2.2 Protocolo de Muestreo de Sedimentos

El procedimiento para la colección de las muestras se presenta en la siguiente figura:



Figura 2. Procedimiento General de Colección de Muestras

A continuación, se presenta un detalle de cada una de las etapas específicas:

1. Ubicar un punto en el lecho de la quebrada representativo del tramo a muestrear.
2. Despejar el área y disponer todos materiales a utilizar: Frascos, guantes, tamiz.
3. Despejar la superficie del punto a muestrear, retirando piedras, ramas, hojas u otros.
4. Retirar el estrato hasta 5 o 10 cm de profundidad, tamizar y disponer en un frasco de vidrio rotulado hasta completar la totalidad de su volumen.
5. Retirar el estrato hasta de 5 a 10 cm o de 10 a 20 cm de profundidad, tamizar y disponer en un frasco de vidrio rotulado hasta completar la totalidad de su volumen.
6. Georreferenciar el punto muestreado.
7. Documentar fotográficamente el procedimiento de toma de muestra de cada punto.
8. Registrar fecha y hora de toma de muestra.
9. Completar la cadena de custodia y almacenar correctamente las muestras.

### 3 Colección o Toma de Muestras

La toma de muestras se distribuyó en 3 sectores: Quebrada Blanca, Las Cascadas y Quebrada Maní/Choja.

Las coordenadas de cada punto de muestreo se presentan en Anexo 2 y la representación cartográfica de estos en el Anexo 3.

#### 3.1 Sector Quebrada Blanca

En este sector se contemplaron 32 tramos (1 al 32). El primer tramo corresponde al sector de descarga de la Planta de Tratamiento y el último tramo al sector antes de Las Cascadas.

En la figura 3, se presenta un mapa con todos los puntos de muestreo:

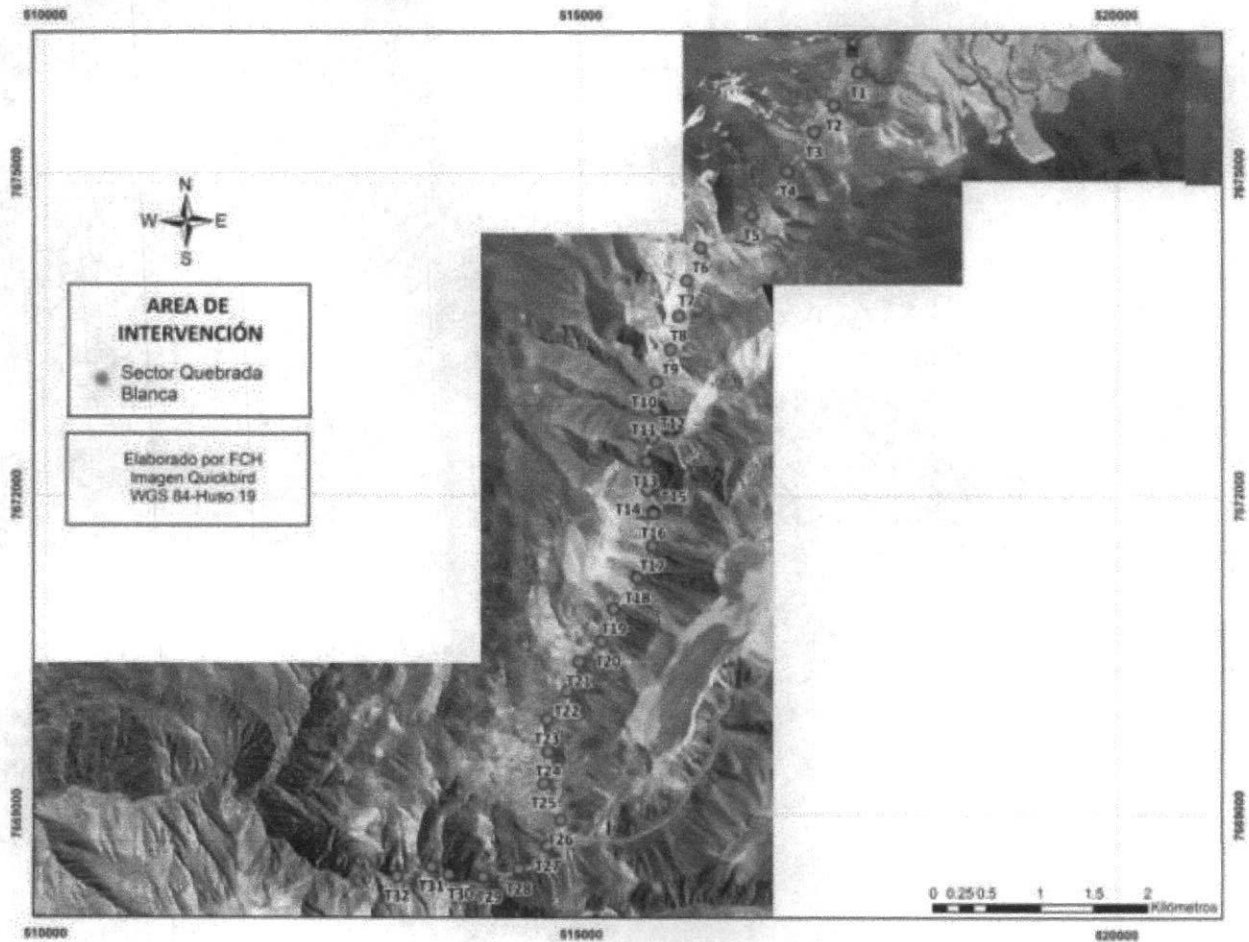


Figura 3. Mapa Sector Quebrada Blanca



A continuación, se presenta un registro fotográfico del muestreo en los tramos 19 y 20.

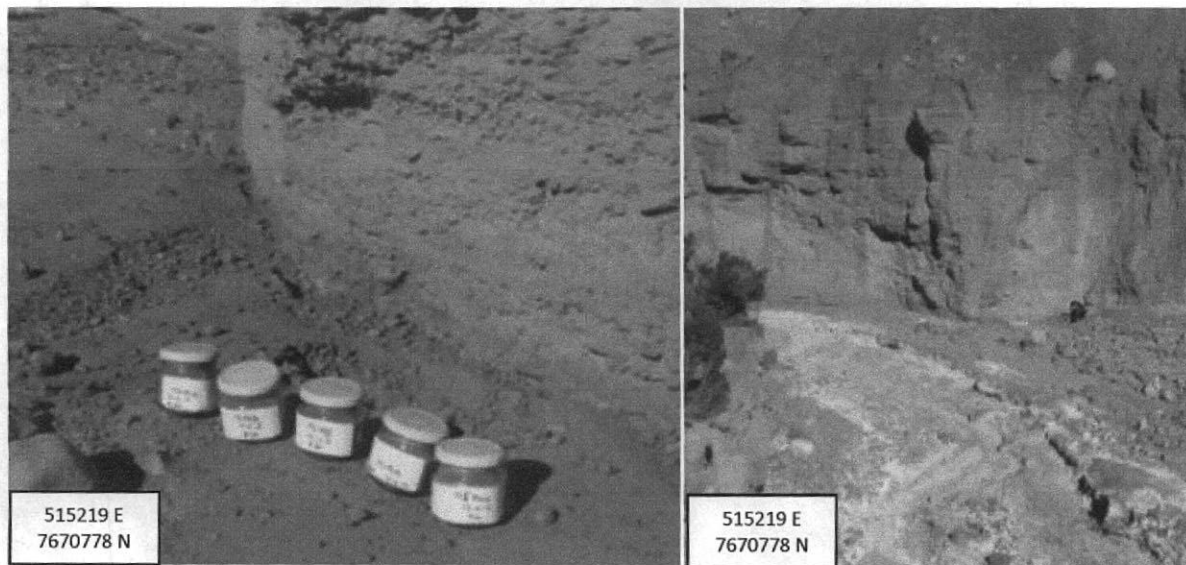


Figura 4. Toma de muestras en Tramo 19.



Figura 5. Muestras colectadas en Tramo 20.

### 3.2 Sector Las Cascadas

En este sector se contemplaron 3 tramos, desde el tramo 33 hasta el 35, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

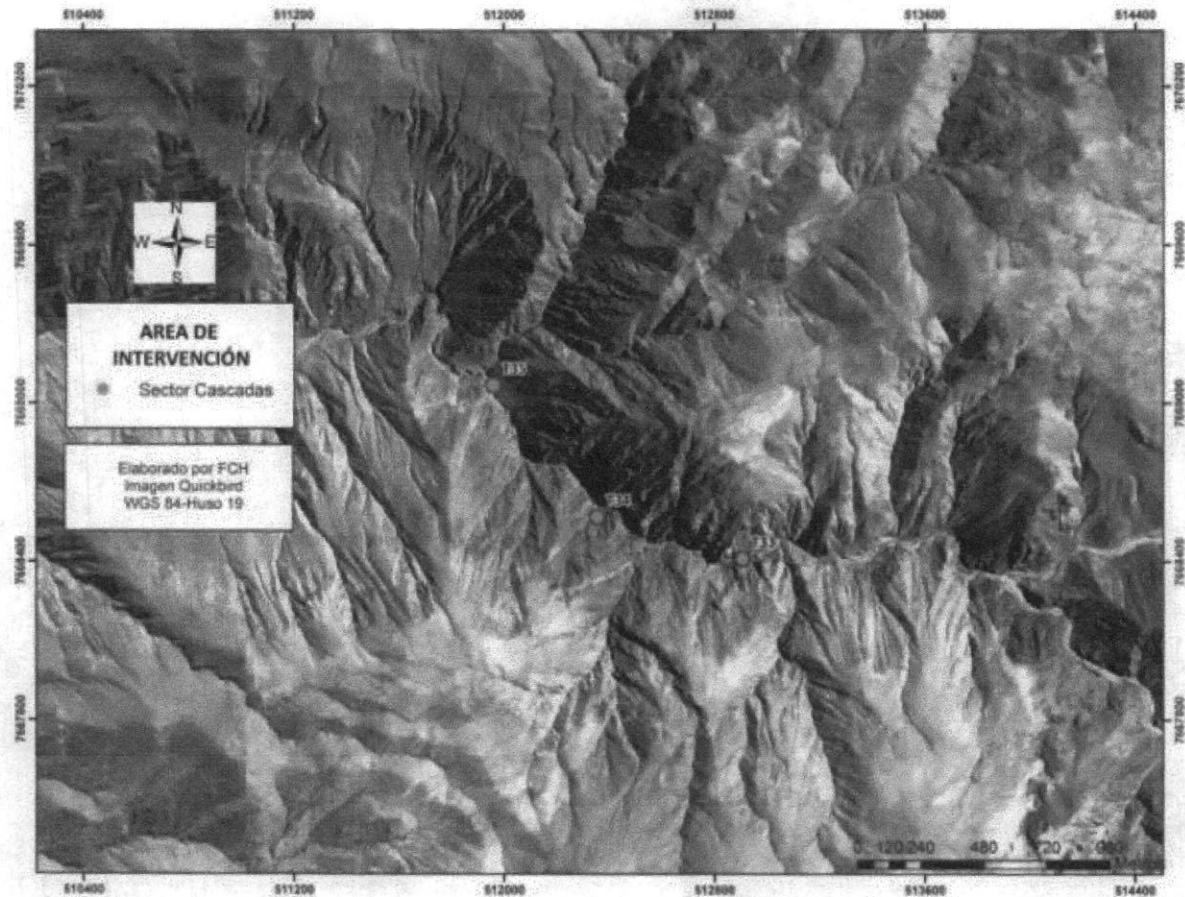


Figura 6. Mapa Sector las Cascadas

### 3.3 Sector Quebrada Choja/Maní

En este sector se contemplaron 51 tramos, desde el tramo 36 hasta el 87, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

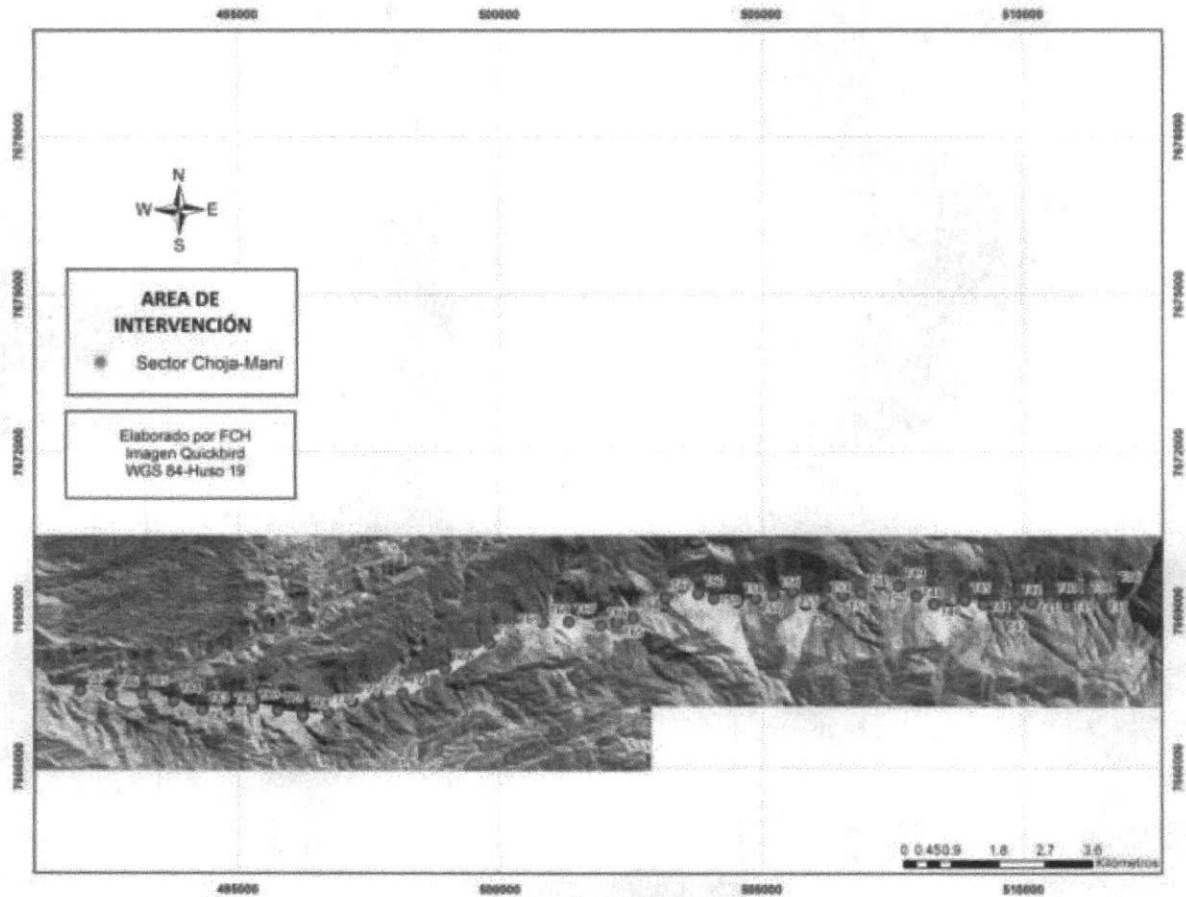


Figura 7. Mapa Sector Choja/Maní



### 3.4 Mantenimiento de la cadena de Frío

Con el fin de mantener la cadena de frío durante todo el proceso de muestreo y el transporte al extranjero, las muestras se mantuvieron en coolers con icepacks y en coolers con hielo seco para su envío al extranjero, (Figura 8). Esta medida se considera clave para la obtención de resultados representativos en la campaña de muestreo realizada.



Figura 8. Muestras debidamente empaquetadas en coolers con hielo seco

### 3. Análisis de Resultados

De acuerdo al punto 8 del ORD U.I.P.S. N° 124, de fecha 16 de abril de 2013, las concentraciones obtenidas se deben comparar con los siguientes valores de referencia seleccionados:

- PAH: valores ISQG propuestos por la norma canadiense para Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, PAHs, de calidad de sedimentos para la protección de la **vida acuática** [1] (Anexo 4) , indicados en la página 18 del Informe "Selección de Valores de Referencia Internacionales para Suelos y Sedimentos".
- TPH: las concentraciones se compararán con el valor de 1200 mg/kg de material seco, de acuerdo a la Norma Técnica Alemana del Estado de Berlín [2].

Los análisis de los resultados obtenidos en el marco del muestreo confirmatorio de la limpieza realizada en las Quebradas Blanca, Choja y Maní, indican que los tramos muestreados no presentan concentraciones de hidrocarburos por sobre los valores que se contemplan en las normas de referencia citadas, aplicadas según los términos y condiciones de uso que se especifican en las mismas normas.

#### 3.5 Alcances de los Valores de Referencia de la Norma Canadiense

La norma canadiense para PAHs, de calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática,<sup>3</sup> presenta distintos valores de evaluación, entre los cuales se encuentra el valor PEL, referido al nivel de efecto probable sobre el cual se espera la ocurrencia frecuente de efectos biológicos adversos (más de un 50% de efectos adversos ocurren), y el valor ISQG, que representa la concentración bajo la cual raramente se espera que ocurran efectos biológicos adversos.<sup>4</sup>

Estos valores definen 3 rangos de concentraciones de químicos: el rango de efecto mínimo dentro del cual raramente se producen efectos biológicos adversos (menos de un 25% de efectos adversos bajo el ISQG), el rango de efectos posibles dentro del cual los efectos adversos ocurren ocasionalmente (valores entre PEL e ISQG), y el rango de efecto probable dentro del cual efectos biológicos adversos ocurrirán frecuentemente (más del 50% de los efectos adversos ocurre sobre el PEL). Como se dispone en la norma, los valores ISQG se recomiendan para concentraciones totales de químicos en sedimentos superficiales en agua dulce y ambientes marinos (5 cm).<sup>5</sup>

<sup>3</sup> CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. [Disponible en <http://ceqg-rcqe.ccme.ca>].

<sup>4</sup> Las "Directrices de Calidad Ambiental Canadienses" ("Canadian Environmental Quality Guidelines") constituyen directrices que proporcionan valores basados en la investigación científica aprobados en Canadá como apropiados para la calidad de la atmósfera, ecosistemas acuáticos incluyendo sedimentos, y la calidad del suelo según distintos usos. Las Directrices se utilizan como un conjunto armónico y coherente de umbrales o valores de calidad del aire, agua, sedimentos acuáticos y suelo según el medio específico para el cual fueron elaborados. Se pueden obtener en el sitio web de el Consejo Canadiense de los Ministros del Medio Ambiente ("CCME") en el siguiente vínculo: [<http://ceqg-rcqe.ccme.ca>].

<sup>5</sup> "Canadian ISQGs are recommended for total concentrations of chemicals in freshwater and marine surficial sediments (i.e., top 5 cm), as quantified by standardized analytical protocols for each chemical". **Introduction.** CCME (Canadian Council of

### Condiciones de Uso de la Norma

Es importante destacar que la norma canadiense para la protección de la vida acuática en sedimentos asociada a la presencia de PAH en su introducción (1<sup>er</sup> párrafo p. 3), especifica textualmente: "In the application of the existing framework for assessing sediment quality, it is important to recognize that Canadian ISQGs are intended to be used in conjunction with other supporting information. Such information includes site-specific background concentrations and concentrations of other naturally occurring substances, biological assessments, environmental quality guidelines for other media (e.g., water, tissue, and soil), and Canadian ISQGs and PELs (or other relevant sediment quality assessment values) for other chemicals" [3] (Anexo 5). Es decir, que los valores ISQG deben utilizarse en complemento con información de apoyo adicional que permitirá describir de manera más adecuada las condiciones presentes en el sitio en estudio.

Además, indican no utilizar sólo una herramienta para la evaluación de la calidad de los sedimentos para predecir si ocurrirán efectos biológicos adversos como resultado de una exposición a químicos en sedimentos (2<sup>o</sup> párrafo p.3). Por el contrario, advierten sobre la necesidad de usar distintas herramientas para obtener información relevante que permita realizar una evaluación apropiada del sitio. Además, destacan que el uso de los valores ISQG por si solos puede llevar a conclusiones o predicciones erróneas con respecto a la calidad de los sedimentos.

Los valores ISQG y PEL propuestos, se refieren a concentraciones totales de PAH en sedimentos superficiales **donde necesariamente existe presencia de agua permanente y en cantidades tales que permitan el desarrollo de vida acuática.**

Por el contrario, en aquellos lugares que **no** presenten estas características y por ende, no exista vida acuática, la Guía recomienda utilizar aquellos valores propuestos en alguna otra guía que represente de mejor forma las condiciones ambientales imperantes, como por ejemplo la Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health: Carcinogenic and other PAHs [4] [5] (Anexo 6).<sup>6</sup> Cabe destacar, que esta guía, entrega distintos valores de referencia para la protección del medio ambiente y la salud de las personas, incluyendo aquellos para la protección de vida en agua dulce, la protección de ganado y vida silvestre, la protección de la salud ambiental basada en estudios de toxicidad en plantas e invertebrados y valores basados en la protección de la salud de las personas. Asimismo, esta guía establece distintos usos de suelo (Agrícola, Residencial/Áreas Verdes, Comercial e Industrial) para los cuales se proponen distintos valores de referencia según las vías de exposición de los receptores al compuesto involucradas, siendo los más estrictos aquellos propuestos para uso Agrícola y Residencial/Áreas Verdes).

---

Ministers of the Environment). 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life, pag. 2. [Disponible en <http://ceqg-rcqe.ccme.ca>].

<sup>6</sup> CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1999. Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. [Disponible en <http://ceqg-rcqe.ccme.ca>].

**En el marco de este análisis, se utilizaron aquellos que mejor se adecuaron a la situación sitio-específica.**

### 3.6 Comparación de Resultados Analíticos con Norma Canadiense para la protección de Vida Acuática en Sedimentos

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados en Centro de Calidad Analítica Laboratorios (CQA) entregados el día 31 de Julio 2013 a la Superintendencia de Medio Ambiente.

#### 3.6.1 PAH

El detalle de los resultados de PAH obtenidos del muestreo confirmatorio de sedimentos se muestran en el Anexo 1.

Al realizar una comparación de los resultados obtenidos con los valores de referencia incluidos en la normativa canadiense para PAHs de calidad de sedimentos para la protección de **la vida acuática**: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos [1] (Tabla 1; Anexo 4), se observa que de un total de 87 tramos muestreados en dos niveles de profundidad, solamente 2 tramos, ubicados en el Sector de Quebrada Blanca (Figura 9), presentan concentraciones por sobre los valores de referencia ISQG para algunos compuestos.

Las muestras donde se identificaron PAH por sobre el ISQG corresponden a las muestras MS 19A, MS 20A, MS 19B y MS 20B, asociadas a sedimentos en correspondientes a las profundidades 0-5 cm y 5-10 cm respectivamente (Tabla 1 y Figuras 10-17).

Respecto al nivel PEL referente a la normativa canadiense para PAHs de calidad de sedimentos para la protección de la **vida acuática**, solamente el análisis de Antraceno (uno de los 17 parámetros analizados) en la muestra superficial (MS 20A) se encuentra sobre este valor, mientras que en el resto de las muestras todas se encuentran bajo este último (Tabla 1; Figura 10).

Es importante mencionar que la norma Canadiense para la protección de la **vida acuática** en sedimentos, establece que al superarse cualquier valor asociado a alguno de los parámetros en estudio, se debe continuar con las investigaciones del sitio, en términos de llevar a cabo un análisis detallado de las características sitio específicas, complementando el análisis preliminar de los resultados obtenidos con guías asociadas a otras matrices ambientales que describan de mejor manera las condiciones ambientales del lugar en estudio.





Figura 9. Sector con presencia de PAHs en Quebrada Blanca.

**Tabla 1: Comparación resultados analíticos con Normativa Canadiense para PAHs para Protección de la vida acuática en Sedimentos y Calidad de Suelos suelos.**

Compuestos	Canadá	Canadá	Canadá	MS 19A	MS 19B	MS 20A	MS 20B
	Valor de Referencia Protección de vida acuática Sedimentos (ISQG) (µg/Kg)	Valor de Intervención Protección de vida acuática (PEL) en Sedimentos (µg/Kg)	Suelos Residencial /Áreas verdes (µg/Kg)	Muestra profundidad 0-5 cm en Tramo 19 (µg/Kg)	Muestra profundidad 5-10 cm en Tramo 19 (µg/Kg)	Muestra profundidad 0-5 cm en Tramo 20 (µg/Kg)	Muestra profundidad 5-10 cm en Tramo 20 (µg/Kg)
<b>PAH</b>							
2-Metilnaftaleno	20,2	201	n.d.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Acenafteno	6,71	88,9	21500 <sup>b</sup>	6,95	n.e.	68,01	n.e.
Acenaftileno	5,87	128	320000 <sup>a</sup>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Antraceno	46,9	245	2500 <sup>c</sup>	67,42	n.e.	270,67	118,11
Benzo(a)antraceno	31,7	385	6200 <sup>b</sup>	43,44	n.e.	340,10	n.e.
Benzo(b)fluoranteno	n.d.	n.d.	6200 <sup>b</sup>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Benzo(k)fluoranteno	n.d.	n.d.	6200 <sup>b</sup>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Benzo(ghi)perileno	n.d.	n.d.	n.d.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Benzo(a)pireno	31,9	782	20000 <sup>c</sup>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Criseno	57,1	862	6200 <sup>b</sup>	68,44	n.e.	375,41	n.e.
Dibenzo(a,h)antraceno	6,22	135	1000 <sup>d</sup>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Fenantreno	41,9	515	43000 <sup>b</sup>	103,58	53,17	401,45	165,01
Fluoranteno	111	2355	50000 <sup>c</sup>	n.e.	n.e.	131,68	344,00
Fluoreno	21,2	144	15400 <sup>b</sup>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Indeno(1,2,3-cd]pireno	n.d.	n.d.	1000 <sup>d</sup>	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Naftaleno	34,6	391	600 <sup>c</sup>	62,33	61,3	n.e.	n.e.
Pireno	53	875	7700 <sup>b</sup>	104,21	n.e.	618,17	350,17

a: Protection of freshwater life.

b: SQGI = soil quality guideline for protection of livestock and wildlife based on soil and food ingestion.

c: SQGE = soil quality guideline for environmental health.

d: Interim soil quality criterion (CCME 1991) is retained as the environmental soil quality guideline for this land use because there was insufficient/inadequate data to calculate an SQGE or provisional SQGE. Consult the human health guidelines/check values to assess the human hazard of PAH mixtures containing this PAH.

n.d.: Valores de referencia no disponibles.

n.e.: Concentración analizada no excede valor de referencia propuesto por la norma.

La nomenclatura A y B en las muestras corresponde a las profundidades 0-5 cm y 5-10 cm respectivamente según el ORD. U.I.P.S. N° 138/2013 de SMA.

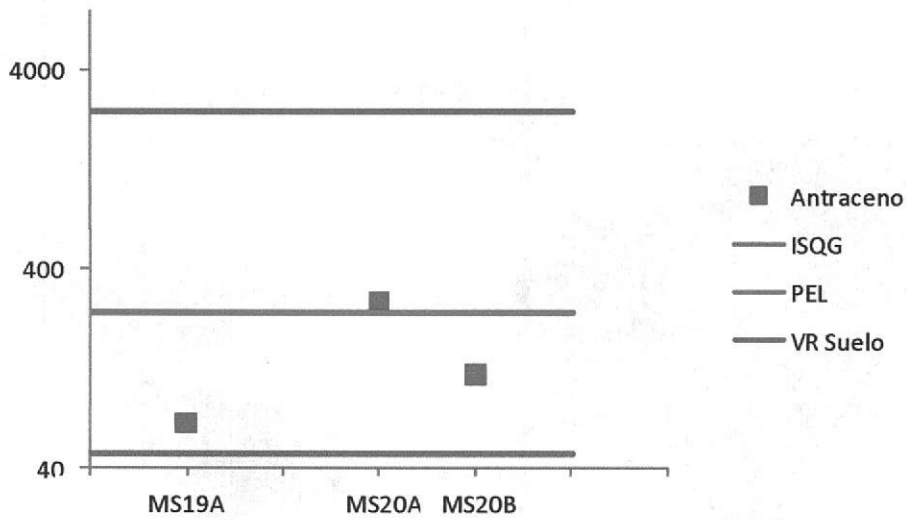


Figura 10. Comparación valores de Antraceno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafica el LOG de las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.

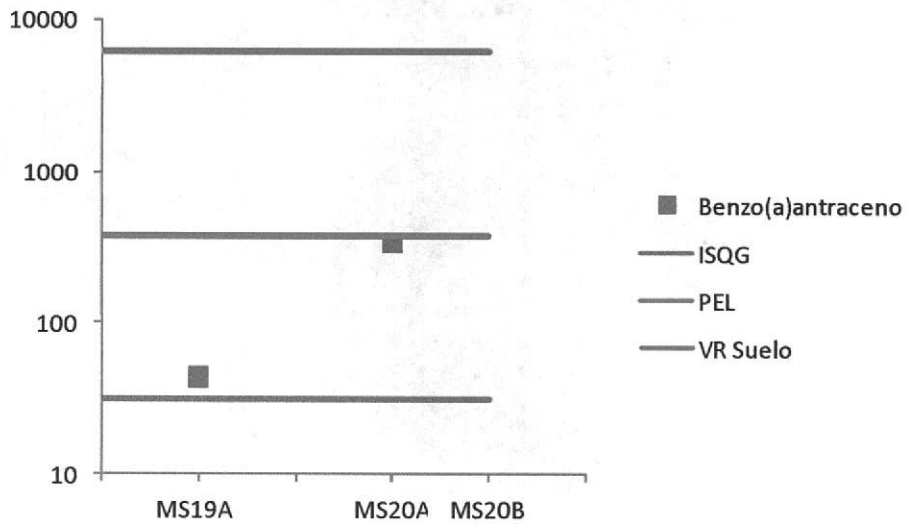


Figura 11. Comparación valores de Benzo(a)antraceno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafica el LOG de las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.

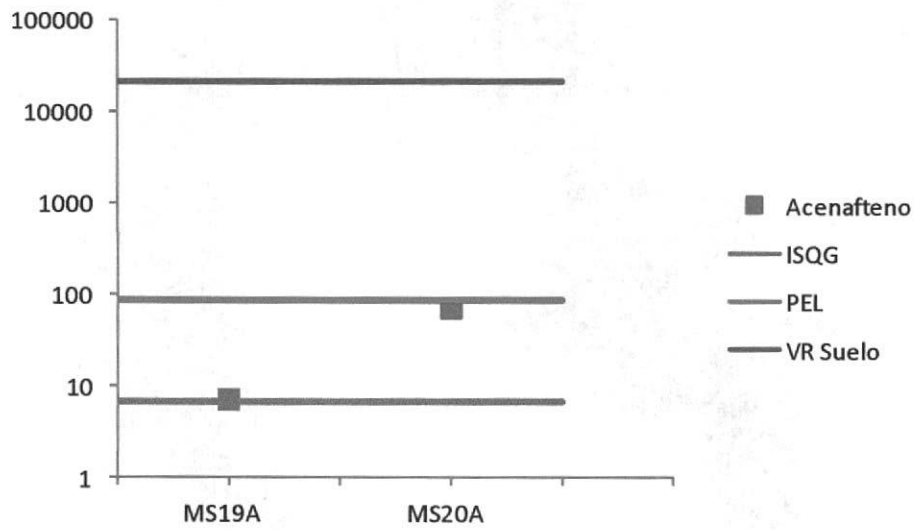


Figura 12. Comparación valores de Acenafteno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafica el LOG de las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.

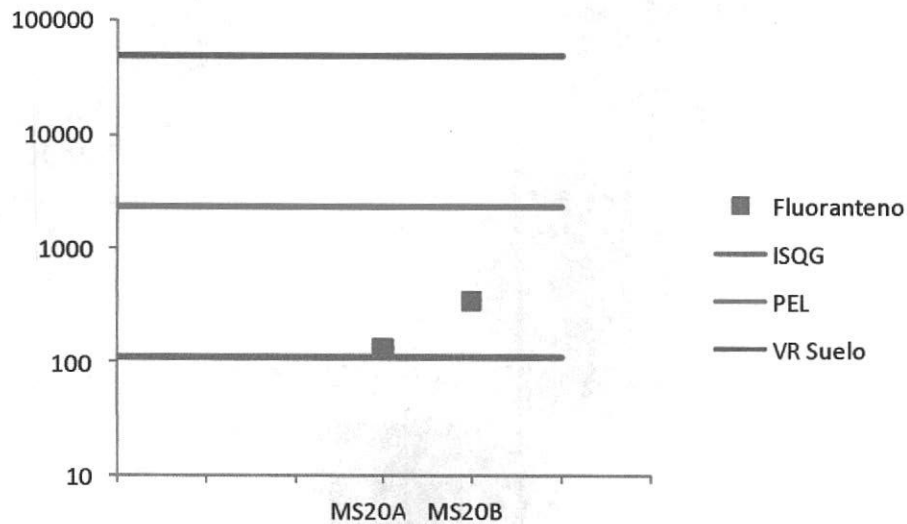


Figura 13. Comparación valores de Fluoranteno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafica el LOG de las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.



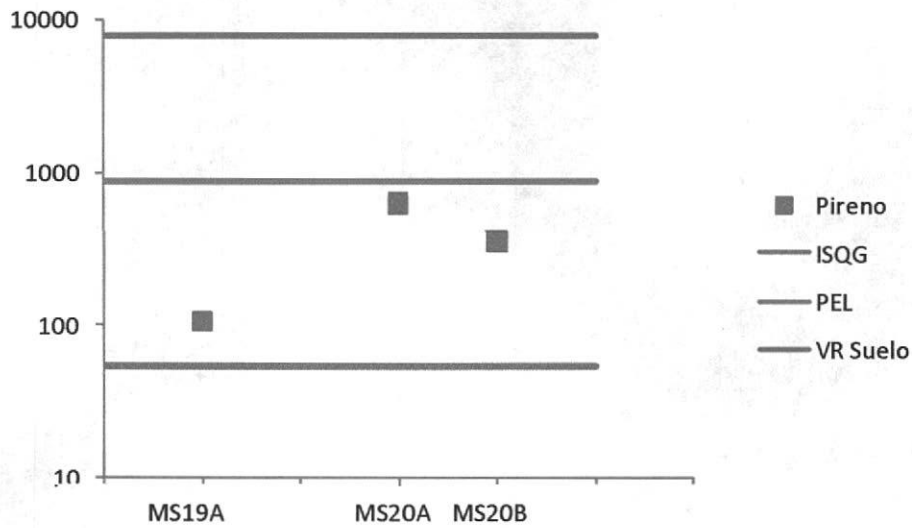


Figura 14. Comparación valores de Pireno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafica el LOG de las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.

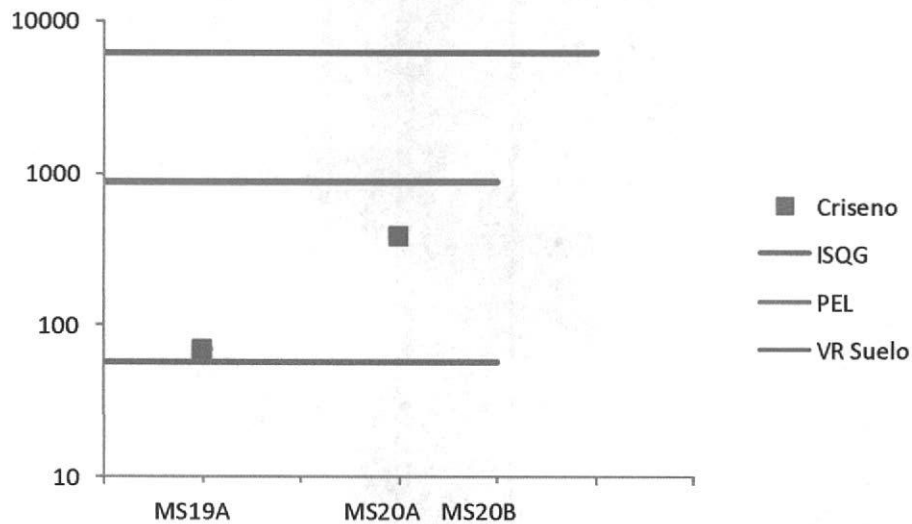


Figura 15. Comparación valores de Criseno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafica el LOG de las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.

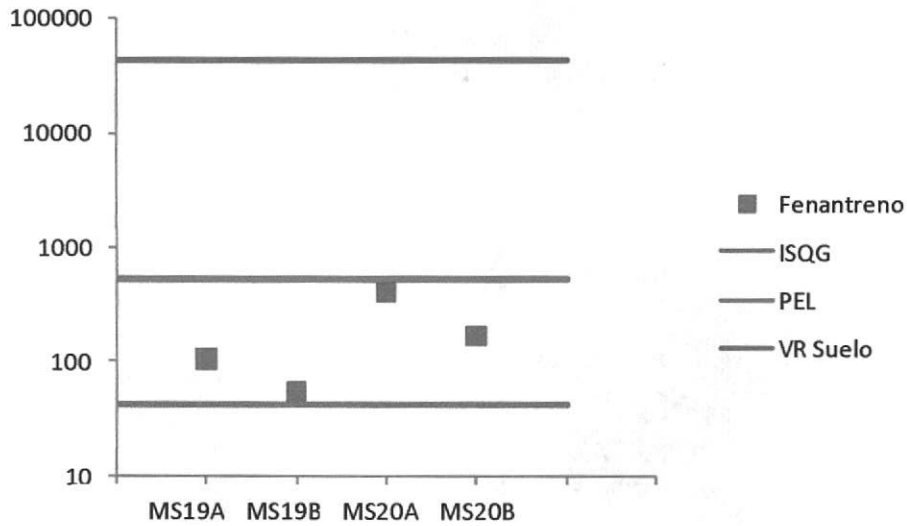


Figura 16. Comparación valores de Fenantreno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafica el LOG de las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.

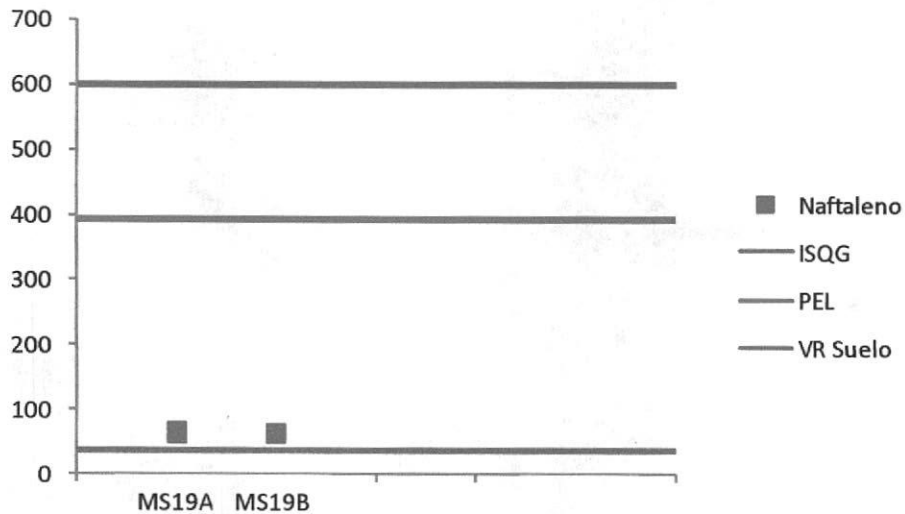


Figura 17. Comparación valores de Naftaleno obtenidos con normas canadienses para calidad de sedimentos y suelos. Se grafican las concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) obtenidas en los distintos tramos. Los valores ISQG y PEL se refieren a la protección de vida acuática en sedimentos. Los valores de referencia para suelo corresponden a un uso Residencial/Áreas verdes.

### 3.6.2 TPH

Los resultados para TPH en las muestras de sedimentos se presentan en el Anexo 1.

Por cada uno de los 87 tramos, se tomaron 2 muestras (una superficial y otra más profunda), obteniendo un total de 174 muestras más un 10% de duplicados. De ese total ninguna de éstas superó el límite establecido por la "Lista de Berlin" (Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin (Berliner Liste 2005) correspondiente a **1200 mg/kg** [2]. Cabe mencionar que esta norma se enfoca en la protección de las aguas subterráneas.

### 3.7 Caracterización de Tramos 19 y 20

De acuerdo a lo anteriormente mencionado en el punto 3.6.1 de este informe, para interpretar de manera adecuada los resultados obtenidos, es importante conocer las características sitio específicas de los tramos con presencia de hidrocarburos (Tramos 19 y 20).

El tramo 19 se inicia en la coordenada 515303 E - 7670937 N (Figura 9), a una altura geográfica promedio 3650 de mts y tiene una longitud aproximada de 400 metros lineales. Inmediatamente a continuación de éste se inicia el tramo 20, específicamente en la coordenada 515186 E - 7670629 N, con una altura geográfica de 3600 m y al igual que el 19, mantiene una longitud cercana a los 400 mts.

Conforme al estudio "Proyecto Derrame de Hidrocarburos Quebradas Blanca, Choja y Maní" desarrollado por GESAM Consultores Ambientales para CMTQB S.A en marzo del año 2013, el drenaje de estas Quebradas hacia el salar presenta un régimen hidrológico del tipo pluvial, originado por las precipitaciones producidas en la zona precordillerana. Éstas se asocian principalmente a fuertes precipitaciones estivales convectivas de corta duración, propias del denominado "invierno altiplánico", las cuales producen un caudal base que escurre de manera subterránea, con afloramientos de agua superficial discontinuos y ocasionales (Anexo 7).

Específicamente, dicho estudio indica que los tramos donde se sobrepasan ciertos valores de referencia para PAH establecidos por la norma para la protección de la vida acuática en sedimentos y sus tramos colindantes, es decir, los tramos 18, 19, 20 y 21 corresponden a una **zona sin presencia de agua**. Esto último, se confirma además en las fotografías georeferenciadas tomadas por personal de FCH en terreno que muestran el cauce seco en los distintos meses que duró la limpieza y los muestreos realizados (Anexo 8), y la línea base presentada por Arcadis en enero de 2011 y el estudio "Proyecto Derrame de Hidrocarburos Quebradas Blanca, Choja y Maní" [6] (Arcadis, documento N° 3711-0000-PC-PRG-004).

Es importante indicar también, que las condiciones de precipitación pueden presentarse de manera muy localizada en la zona, por lo tanto, aún cuando se tenga registro de lluvias en el área de faena, en los tramos 19 y 20 las condiciones climáticas pueden ser diferentes a las anteriores.

Esto se debe principalmente al gradiente altitudinal de aproximadamente 700 m que existe entre la estación meteorológica de Faena y estos tramos.

Actualmente la Quebrada Blanca posee dos fuentes de aporte de agua superficial. La primera está dada por los afloramientos naturales y la segunda, por la recarga que aporta la Compañía y que presenta un gradiente altitudinal de aproximadamente 300 m entre esta y los tramos en cuestión. Ambas fuentes de agua escurren quebrada abajo, pero se infiltran de manera natural al subsuelo entre los tramos 7 y 9 para aflorar en la coordenada 515668; 7671345 (Tramo 17) e infiltrarse en el mismo tramo (Anexo 9). El siguiente afloramiento se registra en la coordenada 514039; 7668356 (Tramo 29), algunos metros aguas arriba de la confluencia con la Quebrada Ramucho.

Debido a lo anterior en ambos tramos (19 y 20) la vegetación azonal o hidrófila se mantiene ausente y no hay ambientes acuáticos ni caracterizados como humedales. La vegetación presente es de carácter zonal y está distribuida en las laderas de los cerros por sobre la quebrada, los que proporcionan una mayor exposición. De la misma forma, hay total ausencia de fauna acuática (macro y micro) en el sector.

En este sentido, el estudio de interpretación de índices a partir de imágenes satelitales realizado por CPRSIG Ltda. en el año 2013 (Anexo 9), indica que el lecho de la quebrada se encuentra seco en estos tramos, y más aún, revela la casi nula actividad fotosintética en el lecho de la quebrada, lo que implica ausencia de vegetación en este sector. Asimismo, el estudio menciona que la poca actividad fotosintética está asociada a pequeños arbustos que se ubican en plataformas de mayor altura que la base del lecho.

Por lo tanto, los tramos 19 y 20 de la Quebrada Blanca se caracterizan por presentar un régimen hídrico esporádico y ser bastante pobres en cuanto a Biodiversidad. Estas características lo definen como un sistema terrestre y no acuático.

La ausencia de agua en este sector imposibilita la formación y desarrollo de un ecosistema acuático y, por lo tanto, se descarta que haya receptores biológicos expuestos permanentemente a los PAH, concluyéndose por ende, que la aplicación de la norma canadiense para protección de **vida acuática** no es la adecuada y el análisis de resultados debe complementarse con valores de referencia para una matriz que dé cuenta de los receptores potencialmente expuestos a los PAH, como lo son aquellos propuestos por la normativa canadiense para calidad de suelos.



### 3.8 Comparación de Resultados Analíticos con Norma Canadiense para Calidad de Suelos

De acuerdo a lo expuesto anteriormente en los puntos 3.6 y 3.7 de este informe, la ausencia de agua en este sector imposibilita la formación y desarrollo de un ecosistema acuático y, por lo tanto, se descarta que haya receptores biológicos expuestos permanentemente a los PAHs, imposibilitando la aplicación de la norma canadiense para protección de vida acuática.

En virtud de lo anterior, tal como lo indica la norma canadiense para la protección de **vida acuática** en sedimentos, que ésta debe utilizarse en conjunto con información complementaria, como por ejemplo guías ambientales de calidad para otras matrices que permitan representar de manera más adecuada las condiciones específicas del sitio. En este contexto y de acuerdo a lo anteriormente expuesto, resulta apropiada la aplicación de la normativa canadiense para **calidad de suelos**, con el fin de evaluar la presencia de hidrocarburos (PAHs) en los tramos 19 y 20.

Ahora bien, considerando los valores de referencia relacionados con uso residencial/Áreas verdes que es uno de los más estrictos y a la vez el escenario que mejor aplica para esta zona por su valor ecológico (tercera columna, Tabla 1), no habría ninguna muestra superando estos valores (Tabla 1 y Figuras 10-17). Incluso el antraceno, que presenta una concentración por sobre el valor PEL en el Tramo 20, estaría casi un orden de magnitud por debajo del valor de referencia.

## 4 Conclusiones

El análisis integral de los resultados obtenidos en el marco del muestreo confirmatorio de la limpieza realizada en las quebradas Blanca, Choja y Maní requirió la utilización de valores de referencia adicionales a los propuestos originalmente en el punto 8 del ORD U.I.P.S. N° 124 (16 de abril de 2013), debido a que los anteriores no representaban las condiciones imperantes en los tramos 19 y 20, donde no se registra presencia de agua en la quebrada, y por ende, **no existe un ecosistema acuático expuesto a los PAHs.**

En este contexto, la norma canadiense establece la necesidad de utilizar los valores de referencia para la matriz en estudio en conjunto con información de apoyo adicional, como por ejemplo guías ambientales de calidad para otras matrices que permitan representar de manera más adecuada las condiciones específicas del sitio. De esta forma, se optó por la aplicación de la normativa canadiense para calidad de suelos en forma complementaria. Bajo este escenario que comprende el análisis de las concentraciones medidas considerando las características sitio específicas de los tramos, los valores obtenidos se encuentran muy por debajo los valores de referencias propuestos en la norma.

Estos resultados permiten concluir que no existe un riesgo para el medio ambiente asociado a la presencia de PAH y TPH en la zona y, que por lo tanto, no es necesario continuar con la investigación ni realizar la intervención de alguno de éstos.

## 5 Bibliografía

[1] Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. [Disponible en [ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/243](http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/243)].

[2] Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin (Berliner Liste 2005).

[3] Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Introduction. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. [Disponible en <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/317/>].

[4] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2010. Canadian Soil Quality Guidelines for Carcinogenic and Other Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Environmental and Human Health Effects). Scientific Criteria Document (revised). 216 pp. [Disponible en [www.ccme.ca/assets/pdf/pah\\_soqg\\_scd\\_1445.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/pah_soqg_scd_1445.pdf)].

[5] Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Carcinogenic and Other PAHs. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. [Disponible en [www.ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/320/](http://www.ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/320/)].

[6] Arcadis. 2011. Proyecto Derrame de Hidrocarburos Quebradas Blanca, Choja y Maní. Documento N° 3711-0000-PC-PRG-004.

## **6 Anexos**

### **6.1 Anexo 1: Resultados Analíticos**

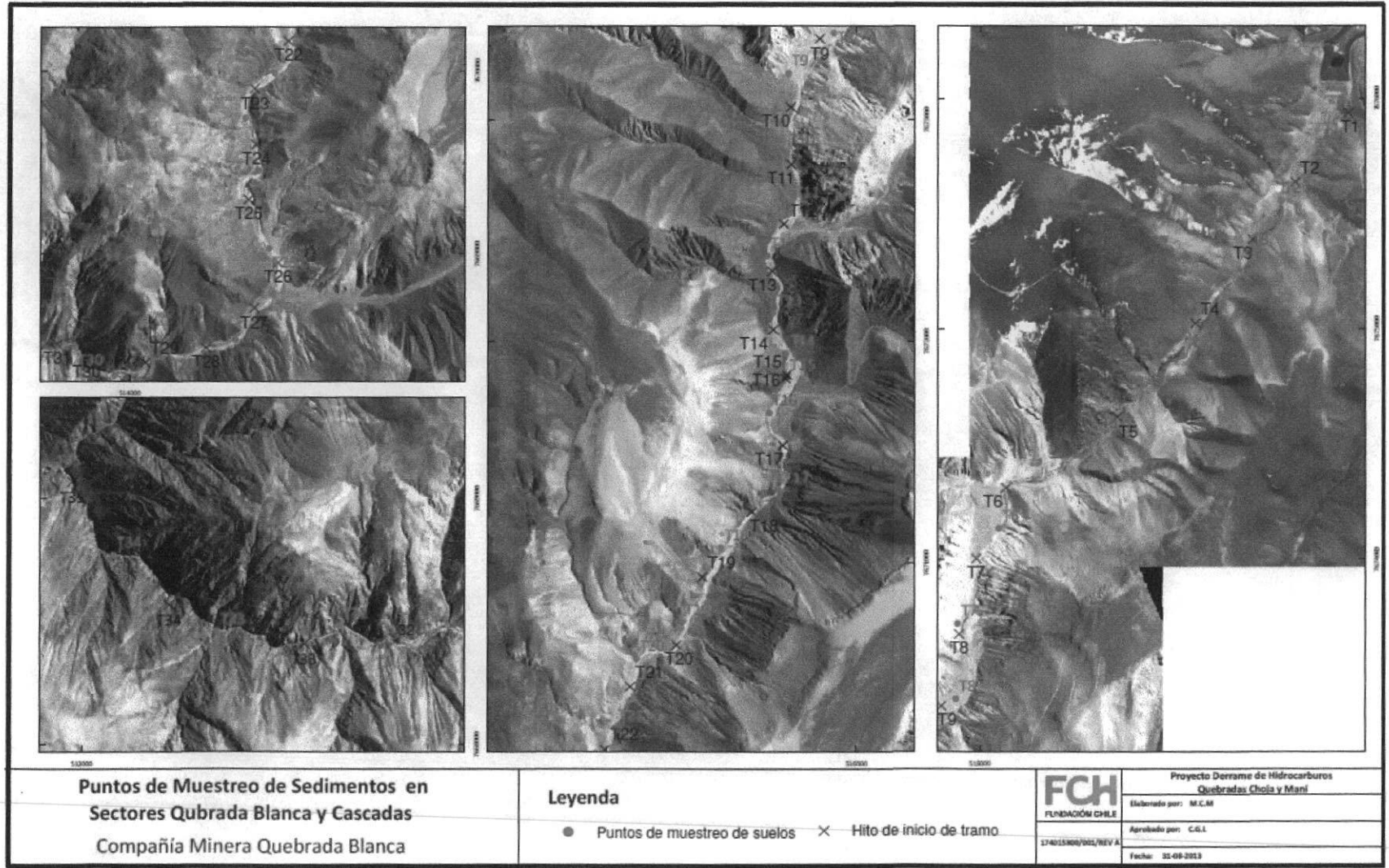
Los resultados analíticos fueron entregados a la Superintendencia del Medio Ambiente el 31 de Julio de 2013. Atendido el volumen de tales resultados analíticos, no se incorporarán en este Anexo.

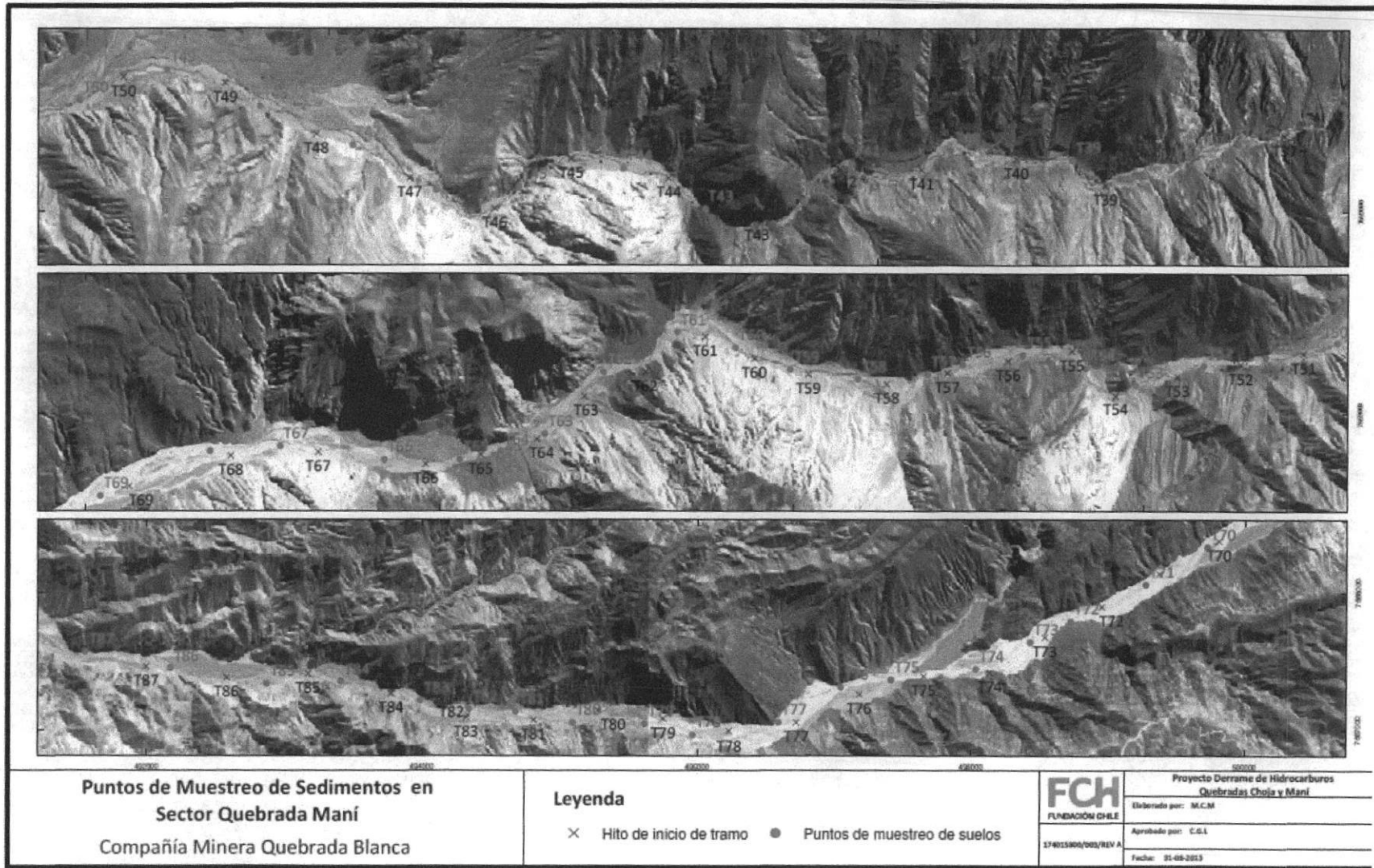


## 6.2 Anexo 2: Coordenadas de las Muestras

Tramo	Coordenada Este	Coordenada Norte	Nombre Muestra (0-5 cm)	Nombre Muestra (0-10 cm)	Nombre Muestra (5-10 cm)	Nombre Muestra (10-20 cm)
1	517475	7675813	MS-1A		MS-1B	
2	517306	7675554	MS-2A		MS-2B	
			QC-2A			
3	517166	7675329	MS-3A		MS-3B	
4	516877	7674883	MS-4A		MS-4B	
			QC-4A			
5	516513	7674537	MS-5A		MS-5B	
			MS-550A			
6	516083	7674134	MS-6A		MS-6B	
7	515904	7673724	MS-7A		MS-7B	
			QC-7A			
8	515913	7673403	MS-8A		MS-8B	
9	515692	7673213	MS-9A		MS-9B	
			MS-90A			
10	515683	7672853	MS-10A		MS-10B	
					MS-100B	
11	515703	7672615	MS-11A		MS-11B	
12	515597	7672388	MS-12A		MS-12B	
			MS-120A			
13	515622	7672129	MS-13A		MS-13B	
14	515676	7671940	MS-14A		MS-14B	
			MS-140A			
15	515678	7671845	MS-15A		MS-15B	
			MS-150A			
16	515594	7671658	MS-16A		MS-16B	
17	515651	7671347	MS-17A		MS-17B	
18	515425	7671108	MS-18A		MS-18B	
19	515212	7670734	MS-19A		MS-19B	
			MS-190A			
20	515007	7670570	MS-20A		MS-20B	
			MS-200A			
21	514910	7670255	MS-21A		MS-21B	
22	514793	7669982	MS-22A		MS-22B	
					MS-220B	
23	514632	7669738	MS-23A		MS-23B	
24	514706	7669453	MS-24A		MS-24B	
25	514763	7669031	MS-25A		MS-25B	
			MS-250A			
26	514788	7668782	MS-26A		MS-26B	
27	514580	7668529	MS-27A		MS-27B	
			MS-270A			
28	514244	7668468	MS-28A		MS-28B	
29	513920	7668345	MS-29A		MS-29B	
30	513688	7668505	MS-30A		MS-30B	
31	513414	7668457	MS-31A		MS-31B	
32	513097	7668471	MS-32A		MS-32B	
33	512549	7668457	MS-33A		MS-33B	
34	512125	7668768	MS-34A		MS-34B	
35	511877	7669103	MS-35A		MS-35B	
36	511693	7669382		T-36-10		T-36-20
				T-36-10-D		T-36-20-D
37	511317	7669244		T-37-10		T-37-20
38	511075	7669159		T-38-10		T-38-20
39	510708	7669187		T-39-10		T-39-20
				T-39-10-D		T-39-20-D
40	510264	7669221		T-40-10		T-40-20

### 6.3 Anexo 3: Cartografía Puntos de Muestreo.





6.4 Anexo 4: Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).





## Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life

## POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHs)

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a diverse class of organic compounds that contain two or more fused aromatic (benzene) rings that can be toxic to aquatic biota at elevated concentrations. Some PAHs may contain ring structures with fewer than six carbon atoms (e.g., acenaphthylene, acenaphthene, and fluorene). In others, substitution of a carbon atom in the benzene ring by nitrogen, sulphur, or oxygen atoms results in the formation of heterocyclic aromatic compounds (McElroy et al. 1989; Wilson and Jones 1993). In addition, hydrogen atoms on the parent PAH compound may be substituted for by alkyl groups (e.g., 2-methylnaphthalene). The position of alkyl substituents is extremely important in determining the carcinogenicity of a PAH (Neff 1979; Falk-Petersen et al. 1982), and alkylation may slow the rates of microbial mineralization (degradation) of PAHs (Heitkamp and Cerniglia 1987).

Polycyclic aromatic hydrocarbons are commonly classified into one of two groups based on their molecular structure. Low molecular weight (LMW) PAHs have three or fewer aromatic rings, while high molecular weight (HMW) PAHs have four or more rings. Differences in the structure and size of individual PAHs result in substantial variability in the physical and chemical properties of these substances.

Because PAHs have widespread distribution and significant potential for causing adverse biological effects, the Ministers of the Environment and of Health from the federal government of Canada conducted an assessment of PAHs under the Canadian Environmental Protection Act. They concluded that these substances are entering the environment in quantities or concentrations, or under conditions, that are having, or may have, a harmful effect on the environment (CEPA 1985). Significant quantities of PAHs are released into the environment each year from a variety of natural (e.g., forest fires and volcanic explosions) and anthropogenic (e.g., industrial activities, fossil fuel combustion, and waste incineration) sources (Environment Canada 1998). Emissions of PAHs in Canada are almost exclusively atmospheric, and atmospheric deposition is considered to be the main source of PAHs to Canadian aquatic environments (Ringuette et al. 1993).

The fate and behavior of PAHs in aquatic systems is influenced by a number of physical, chemical, and biological processes. While some of these processes, such

as photooxidation, hydrolysis, biotransformation, biodegradation, and mineralization, result in the transformation of PAHs into other substances, other physical processes, such as adsorption, desorption, solubilization, volatilization, resuspension, and bioaccumulation, are responsible for the cycling of these substances throughout the aquatic environment. The relative importance of each of these processes is dependent on the characteristics of the sediments and on the properties of the individual PAH under consideration. However, considering that within aquatic systems most PAHs tend to be relatively nonvolatile and poorly soluble, PAHs will become incorporated into bottom sediments, primarily by removal from the water column through their association with particulate matter (Government of Canada 1994). Because a variety of aquatic organisms live in contact with bed sediments, sediments are an important exposure route for these organisms to PAHs. Canadian interim sediment quality guidelines (ISQGs) and probable effects levels (PELs) for PAHs can be used to evaluate the degree to which adverse biological effects are likely to occur as a result of exposure to PAHs in sediments.

Canadian ISQGs and PELs for PAHs in freshwater and marine sediments were developed using a modification of the National Status and Trends Program (NSTP) approach as described in CCME (1995) (Table 1). The ISQGs and PELs refer to total concentrations of PAHs in the surficial sediment (i.e., top 5 cm), as quantified by extraction and determination by recognized analytical procedures for PAHs. Currently, there is sufficient scientific information to develop ISQGs for 13 PAHs in marine sediments and 6 PAHs in freshwater sediments. These include 7 LMW-PAHs (naphthalene, 2-methylnaphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, and anthracene) and 6 HMW-PAHs (fluoranthene, pyrene, benz(*a*)anthracene, chrysene, benzo(*a*)pyrene, and dibenz(*a,h*)-anthracene). Insufficient information was available to derive freshwater ISQGs according to the formal protocol for 6 of the LMW-PAHs and 1 HMW-PAH. For these PAHs, the corresponding marine ISQGs and PELs, derived using a modification of the NSTP approach, were provisionally adopted for freshwater, as they were the lowest biological effects-based guidelines available.

The majority of the data used to derive ISQGs and PELs for PAHs are from studies on field-collected sediments that measured concentrations of PAHs, along with concentrations of other chemicals, and associated biological effects that are compiled in the Biological

Table 1. Interim sediment quality guidelines (ISQGs) and probable effect levels (PELs) for PAHs ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ dw}$ ).

	ISQG	PEL
Marine and estuarine sediments		
LMW-PAHs		
Naphthalene	34.6	391
2-Methylnaphthalene	20.2	201
Acenaphthylene	5.87	128
Acenaphthene	6.71	88.9
Fluorene	21.2	144
Phenanthrene	86.7	544
Anthracene	46.9	245
HMW-PAHs		
Fluoranthene	113	1494
Pyrene	153	1398
Benz(a)anthracene	74.8	693
Chrysene	108	846
Benzo(a)pyrene	88.8	763
Dibenz(a,h)anthracene	6.22	135
Freshwater sediments		
LMW-PAHs		
Naphthalene	34.6*	391 <sup>†</sup>
2-Methylnaphthalene	20.2*	201 <sup>†</sup>
Acenaphthylene	5.87*	128 <sup>†</sup>
Acenaphthene	6.71*	88.9 <sup>†</sup>
Fluorene	21.2*	144 <sup>†</sup>
Phenanthrene	41.9	515
Anthracene	46.9*	245 <sup>†</sup>
HMW-PAHs		
Fluoranthene	111	2355
Pyrene	53.0	875
Benz(a)anthracene	31.7	385
Chrysene	57.1	862
Benzo(a)pyrene	31.9	782
Dibenz(a,h)anthracene	6.22*	135 <sup>†</sup>

\*Provisional; adoption of marine ISQG developed using the modified NSTP approach.

<sup>†</sup>Provisional; adoption of marine PEL developed using the modified NSTP approach.

Effects Database for Sediments (BEDS) (Environment Canada 1998). Both the marine (including estuarine) and freshwater data sets represent a wide range of concentrations of PAHs, types of sediment, and mixtures of chemicals. Evaluation of the percentage of effect entries for PAHs that are below the ISQGs, between the ISQGs and the PELs, and above the PELs (Figures 1 to 19) indicates that these values define three ranges of chemical concentrations: those that are rarely, occasionally, and frequently associated with adverse

biological effects, respectively (Environment Canada 1998).

## Toxicity

Adverse biological effects associated with PAHs in sediments are represented in the BEDS and include decreased benthic invertebrate abundance, diversity, and growth, and physiological and behavioural changes, among others (Environment Canada 1998, Appendixes I–XIX). Mortality is the most common acute toxicological endpoint for sediment bioassays on field-collected sediments and laboratory-spiked sediments.

The toxicity of PAHs depends on a number of factors, including the species, route of exposure, and molecular structure of the PAH. In general, LMW-PAHs are considered to be acutely toxic and noncarcinogenic to aquatic organisms, whereas, HMW-PAHs are generally not acutely toxic to aquatic organisms, but a number of them are carcinogenic (Neff 1979; Moore and Ramamoorthy 1984; Goyette and Boyd 1989). The higher acute toxicity of LMW-PAHs is enhanced by their high water solubility, whereas the lower acute toxicity of HMW-PAHs reflects their low water solubility (Duffus 1980; Uthe 1991).

Field studies on LMW-PAHs in freshwater and marine environments demonstrate that toxicity, including mortality and sublethal effects, occurs at concentrations higher than the ISQGs. For example, Ingersoll et al. (1992) observed that concentrations of phenanthrene of  $50 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  and  $82 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , which are above the freshwater ISQG of  $41.9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , were significantly toxic to *Hyaella azteca*, an amphipod. However, concentrations of phenanthrene of  $7.75 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  and  $9.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , which are lower than the freshwater ISQG, were not significantly toxic to *H. azteca*. Carr (1993) examined concentrations of various LMW-PAHs in sediments from Galveston Bay, Texas, and the associated effects on the benthic community in shallow waters of the bay. Benthic invertebrates were found in high abundance (154 organisms per square metre) in sediments where concentrations of acenaphthylene ( $0.235 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), acenaphthene ( $2.71 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), and fluorene ( $3.87 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) were lower than their individual ISQGs of  $5.87 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $6.71 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , and  $21.2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively. These invertebrates were in low abundance (53 organisms per  $\text{m}^2$ ) at concentrations of  $6.89 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $35.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , and  $28 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively, concentrations that exceed their respective ISQGs.

Many toxicological effects have been associated with elevated concentrations of HMW-PAHs in field studies. For example, Malins et al. (1985a, 1985b) found that benzo(a)pyrene was not significantly toxic to a benthic-

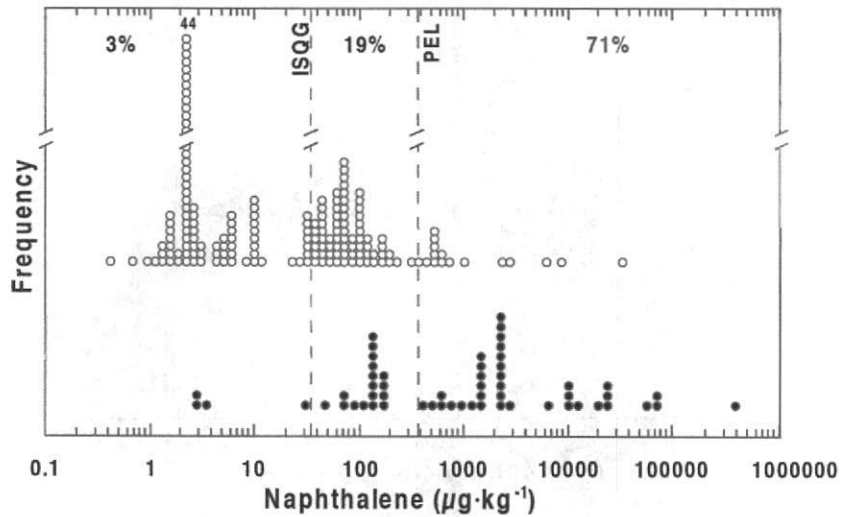


Figure 1. Distribution of naphthalene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

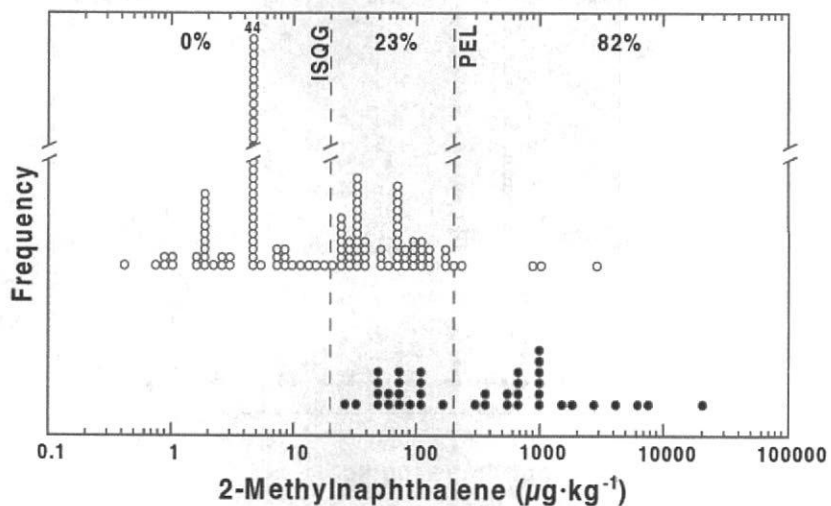


Figure 2. Distribution of 2-methylnaphthalene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

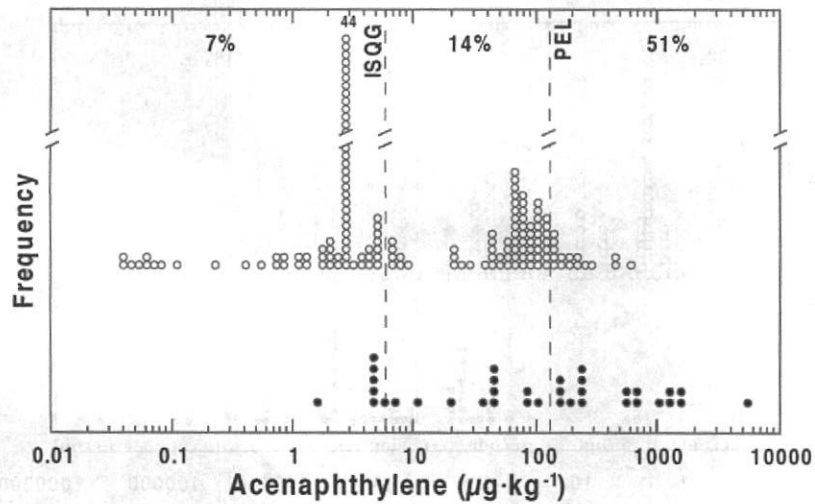


Figure 3. Distribution of acenaphthylene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

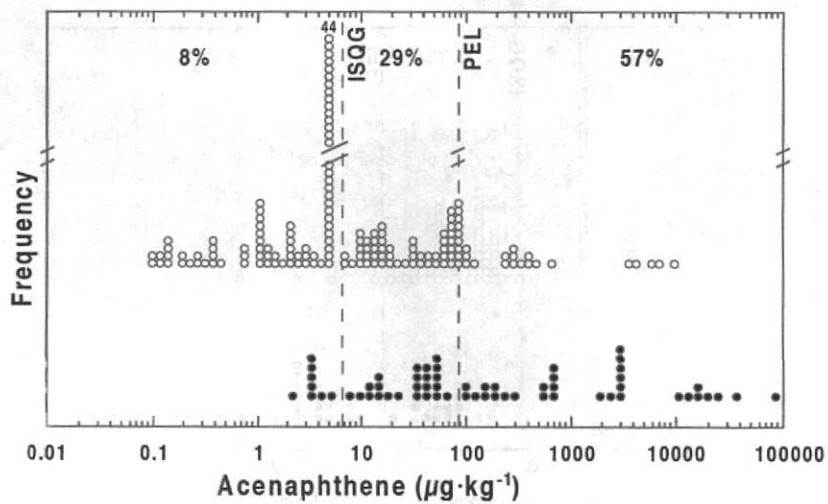


Figure 4. Distribution of acenaphthene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.



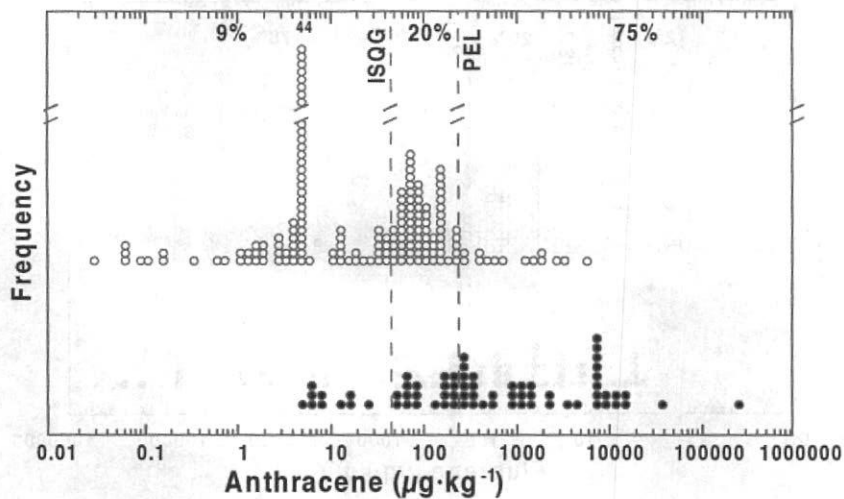


Figure 7. Distribution of anthracene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

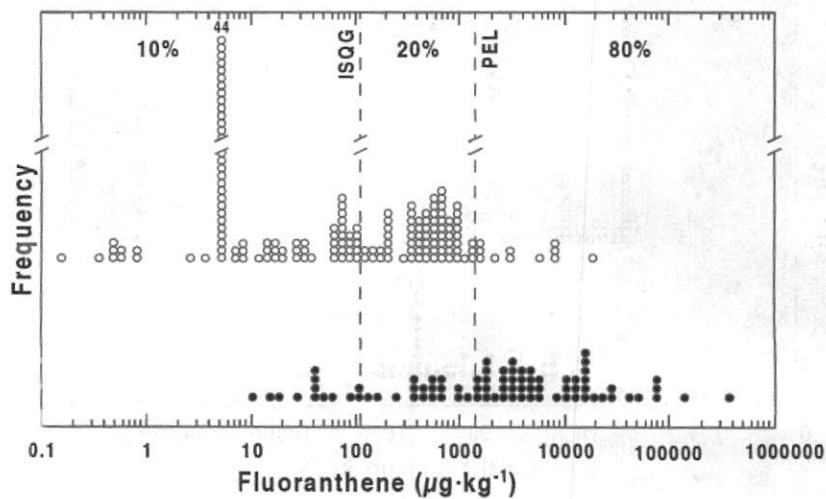


Figure 8. Distribution of fluoranthene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

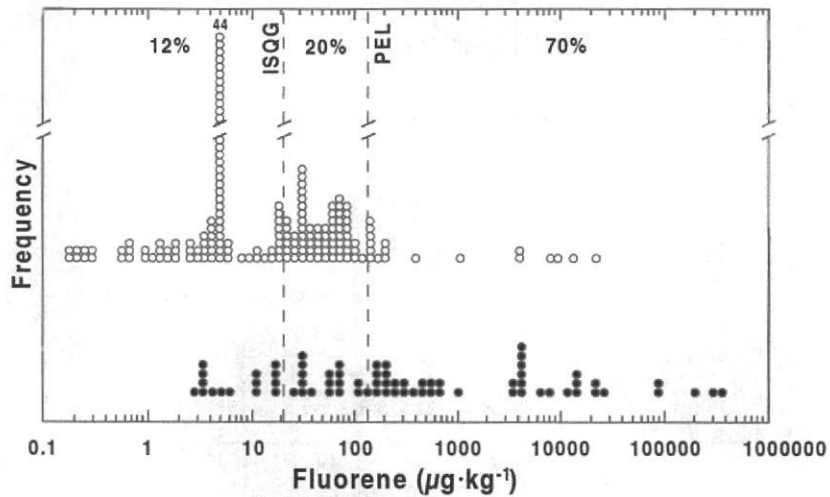


Figure 5. Distribution of fluorene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

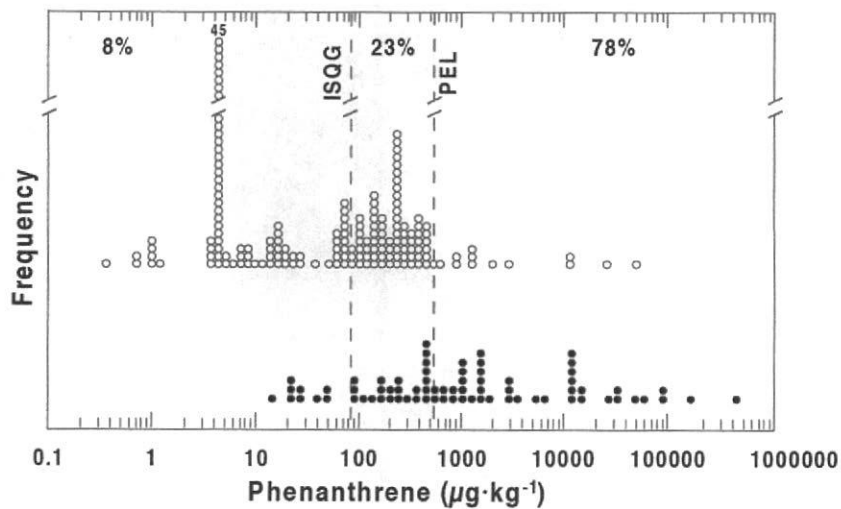


Figure 6. Distribution of phenanthrene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

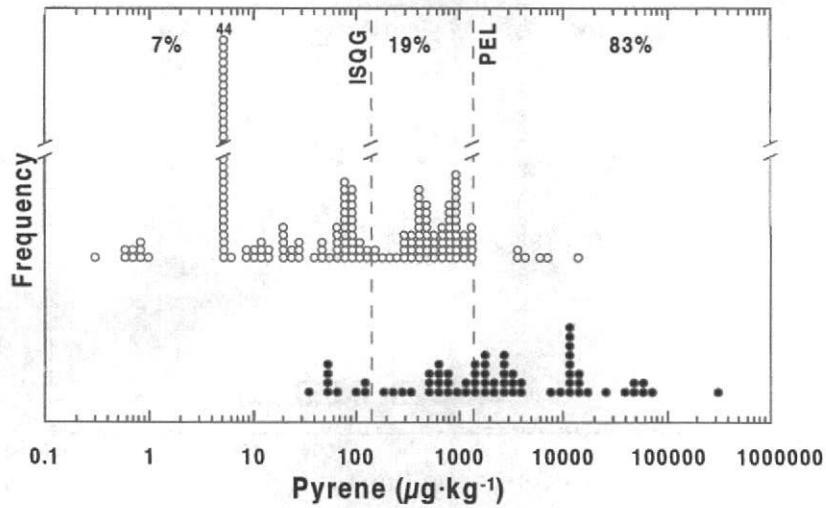


Figure 9. Distribution of pyrene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

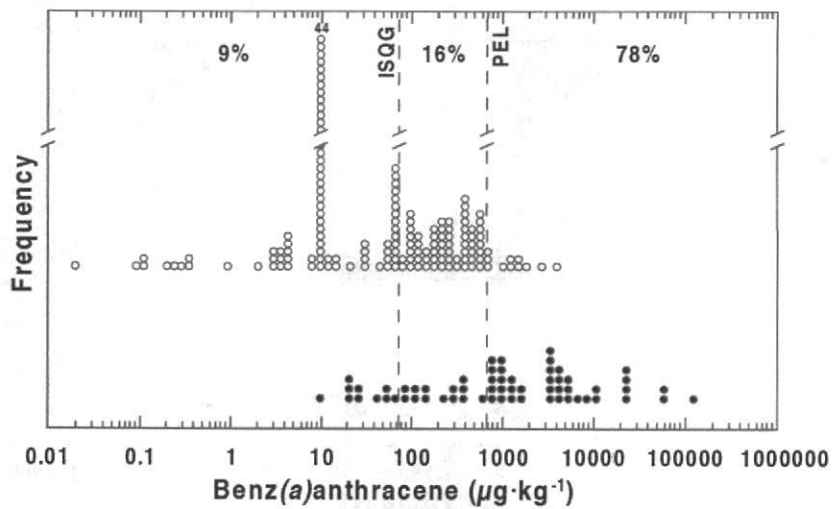


Figure 10. Distribution of benz(a)anthracene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

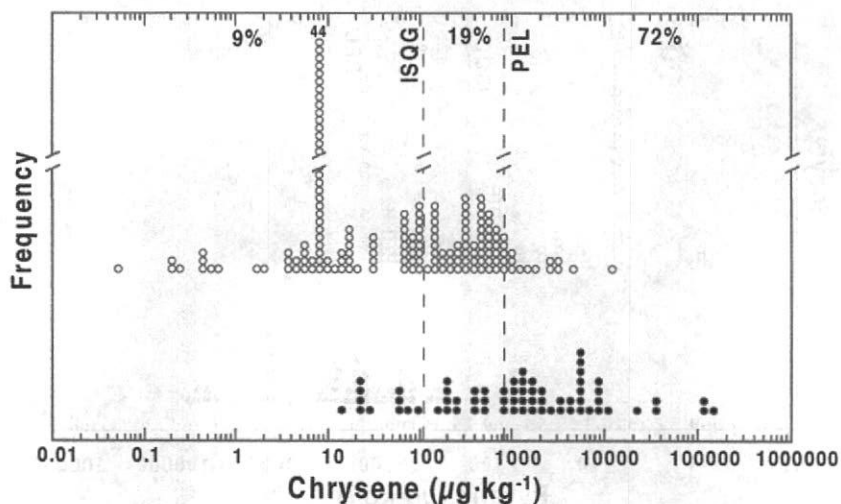


Figure 11. Distribution of chrysene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

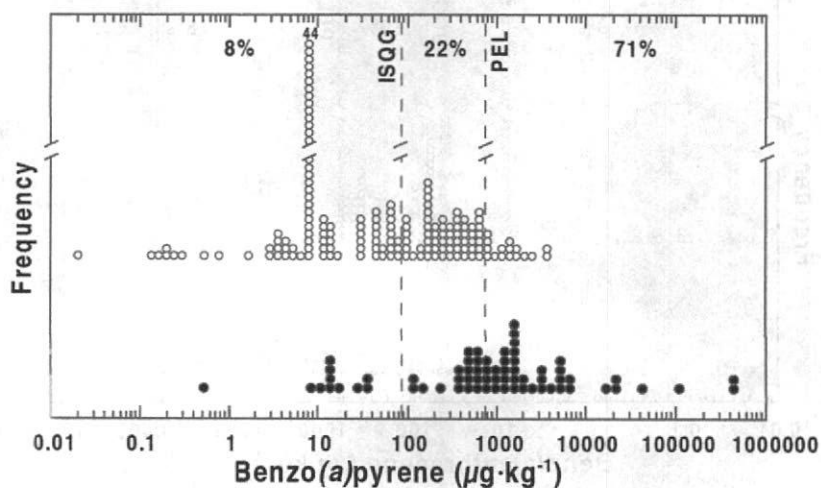


Figure 12. Distribution of benzo(a)pyrene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.



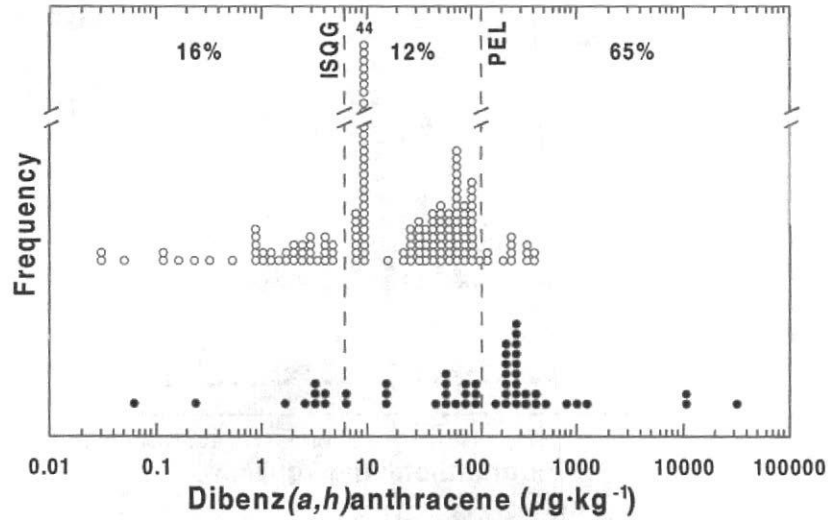


Figure 13. Distribution of dibenz(a,h)anthracene concentrations in marine and estuarine sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

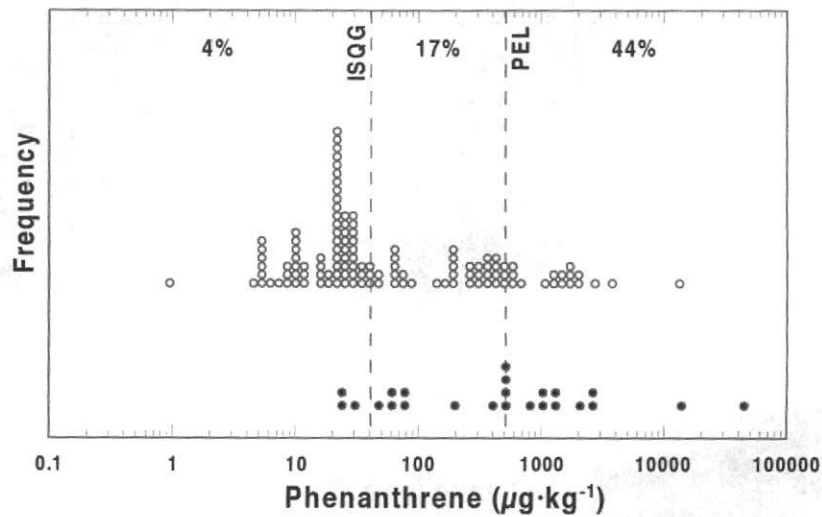


Figure 14. Distribution of phenanthrene concentrations in freshwater sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

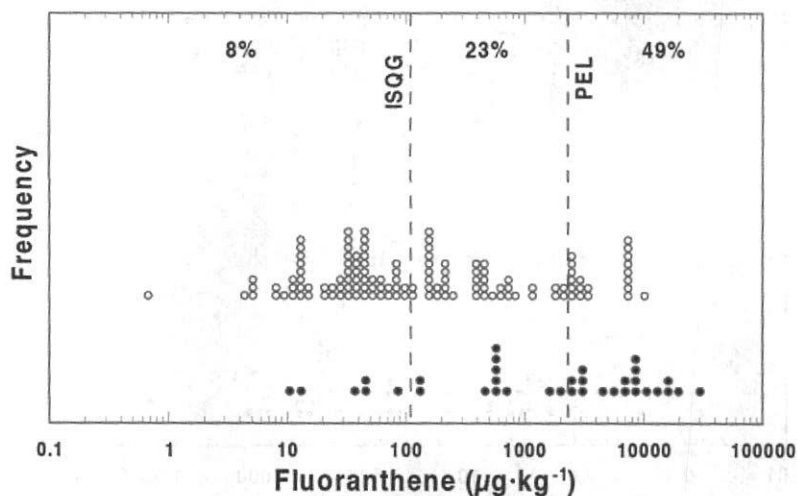


Figure 15. Distribution of fluoranthene concentrations in freshwater sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

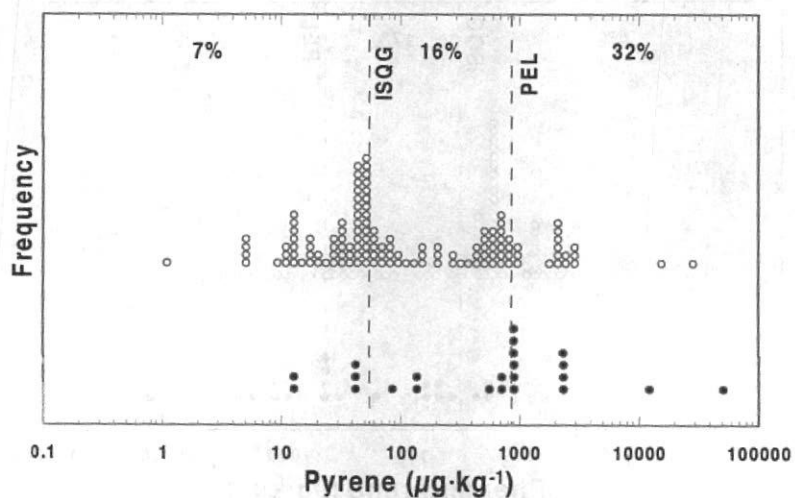


Figure 16. Distribution of pyrene concentrations in freshwater sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

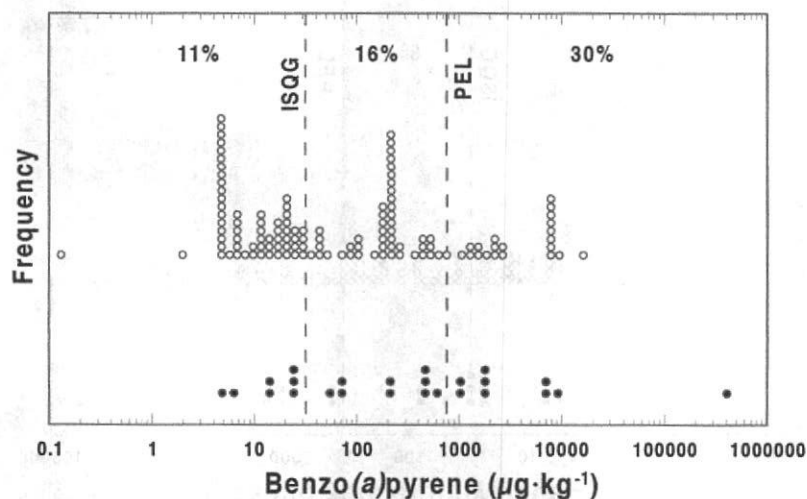


Figure 19. Distribution of benzo(a)pyrene concentrations in freshwater sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

feeding flatfish, *Parophrys vetulus*, in Puget Sound at a concentration of  $41 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , which is lower than the marine ISQG, but was toxic at a concentration of  $1\,579 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , which is twice the PEL. Lotufo (1997) examined the sublethal effects of fluoranthene and phenanthrene separately on reproduction and behaviour in an estuarine copepod, *Schizopera knabeni* Lang. After 14-d exposure, neither of the two PAHs had affected reproductive clutch size at concentrations ranging from 0 to  $261 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  and 0 to  $249 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  for phenanthrene and fluoranthene, respectively; production, however, was lower (Lotufo 1997). During separate 6-h exposures, *S. knabeni* also actively avoided sediments that had been spiked with several concentrations of phenanthrene ( $0\text{--}514 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and fluoranthene ( $0\text{--}990 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) by burrowing into noncontaminated sediment in the same container (Lotufo 1997). All of the above sublethal effects occurred at concentrations much higher than the PELs of  $1494 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  for fluoranthene and  $544 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  for phenanthrene. In a freshwater environment, Stewart and Thompson (1995) investigated the sublethal effects of fluoranthene on the emergence (development of newly hatched larvae to adult stage) of *Chironomus riparius*. After a 28-d exposure to fluoranthene at concentrations of  $80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  and  $170 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 30–70 times greater than the PEL of  $2\,354.9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , the median emergence time and the onset of emergence increased significantly, while the

percent of total emergence decreased significantly (Stewart and Thompson 1995).

Spiked-sediment toxicity tests for PAHs report toxicity to benthic organisms at higher concentrations than those observed in field studies. This is likely a result of the shorter-term exposure of these laboratory studies and exposure to only one PAH, as opposed to a mixture of several PAHs and chemicals (Environment Canada 1998). For example, Lotufo (1997) examined the separate toxicities of phenanthrene and fluoranthene on the survival of *S. knabeni*, an estuarine copepod. The 4-d  $\text{LC}_{50}$ s of  $473 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  for phenanthrene and  $>2100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  for fluoranthene were much higher than their respective PELs of  $544 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  and  $1494 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Lotufo 1997). Similarly, in a freshwater environment, the 32-d  $\text{LC}_{50}$ s for *Diporeia* spp. ranged between  $147$  and  $223 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  in sediments spiked with pyrene (Landrum et al. 1994). These  $\text{LC}_{50}$ s are 160–250 times greater than the PEL of  $875 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Mixtures of PAHs have also been spiked into freshwater sediments. Landrum et al. (1991) spiked sediment with a mixture of fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, chrysene, benzo(a)pyrene, and four other HMW-PAHs. The endpoints examined were sediment avoidance and mortality. At the highest

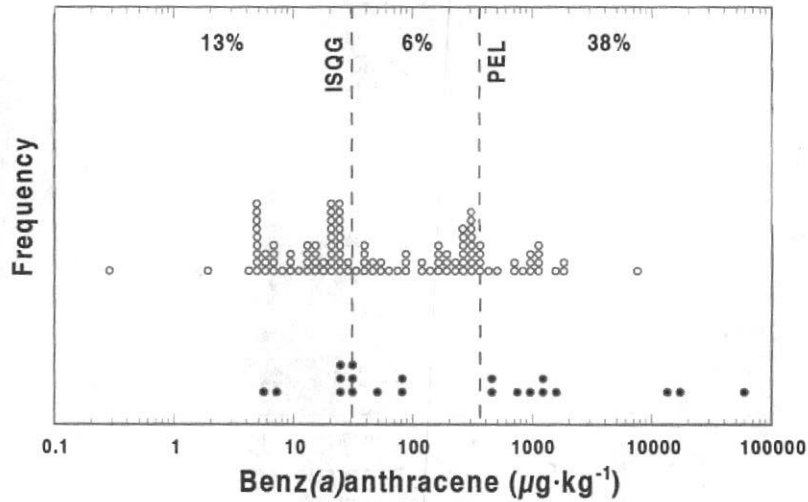


Figure 17. Distribution of benz(a)anthracene concentrations in freshwater sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.

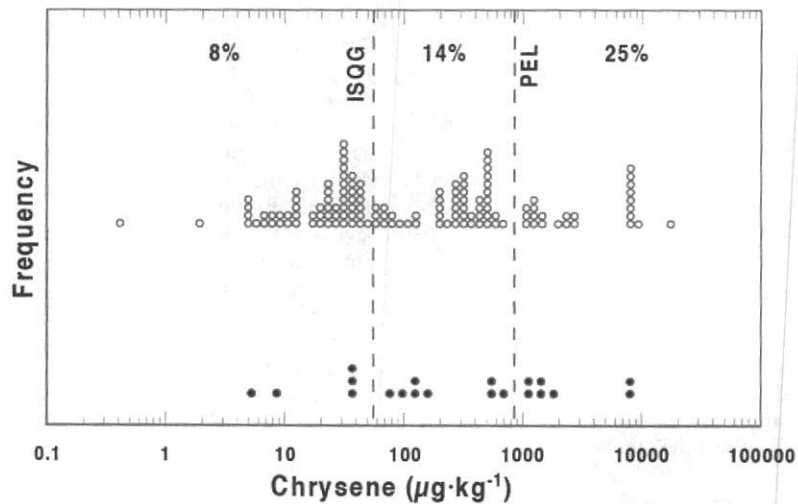


Figure 18. Distribution of chrysene concentrations in freshwater sediments that are associated with adverse biological effects (●) and no adverse biological effects (○). Percentages indicate proportions of concentrations associated with effects in ranges below the ISQG, between the ISQG and the PEL, and above the PEL.



pitch from an aluminium smelter had limited bioavailability and, hence, low toxicity. However, PAHs from petroleum and related sources are likely to be more bioavailable to sediment-dwelling organisms than other sources of PAHs because they can more readily desorb from sediment particulates.

Benthic organisms are exposed to PAHs through various routes of exposure, including exposure to particulate or dissolved PAHs in interstitial or overlying waters, as well as to sediment-bound PAHs through surface contact and sediment ingestion. The relative importance of each of these exposure routes is likely to differ among various species and life history stages. Nevertheless, sediments represent the most important exposure route for many benthic invertebrates (Environment Canada 1998). Data on the concentrations of PAHs in bulk sediments provide important information for evaluating sediment contamination, however, such measurements do not necessarily reflect the bioavailable fraction of these substances. Differences in bioavailability will be observed for individual PAHs and different types of sediment (DeWitt et al. 1992; Wood et al. 1997).

Collectively, the available data on the physical and chemical properties of PAHs indicate that these substances are generally hydrophobic and have a high potential for adsorption to suspended particles in air and water (NRCC 1983; Sloof et al. 1989). The log  $K_{ow}$  values of the 13 PAHs considered ranged from 5.32 to 6.04 for HMW-PAHs and 3.37 to 4.46 for LMW-PAHs (Environment Canada 1998). Studies investigating bioaccumulation by various aquatic organisms illustrate that the bioaccumulation of PAHs from the water is greatest for substances with a log  $K_{ow}$  value between 5.0 and 5.6, with relatively less bioaccumulation occurring for substances having higher or lower log  $K_{ow}$  values (Trucco et al. 1983; Neff 1985; de Voogt et al. 1991). For sediments, the bioaccumulation of several sediment-associated PAHs (e.g., anthracene, phenanthrene, pyrene, benz(a)anthracene, and benzo(a)pyrene) by *Diporeia hoyi*, an amphipod, was highest at a log  $K_{ow}$  of approximately 5 (Landrum 1989). Bioaccumulation is thought to be highest for these PAHs because substances with lower log  $K_{ow}$  values (i.e., <5) are more rapidly eliminated, while substances with higher log  $K_{ow}$  values (i.e., >6) are taken up more slowly because they are more strongly sorbed to sediments (Landrum 1989). Uptake of the higher molecular weight substances, which have higher  $K_{ow}$  values, may also be reduced due to slower transport across biological membranes.

The results of numerous studies have shown that organic carbon content is one of the most important factors affecting the bioavailability of PAHs (Environment

Canada 1998). In addition, differences in bioavailability have been observed in sediments having similar levels of organic carbon, suggesting that the type of organic carbon present in the sediment is also important (Suedel and Rodgers 1991; Harkey et al. 1995). The presence of clays and other fine materials, which directly affect particle size distribution, may contribute significantly to the sorption of nonpolar organic chemicals to bed sediments, thereby reducing their bioavailability (Neff 1984; Rodgers et al. 1987). The presence of dissolved organic carbon and dissolved humic material in interstitial water can also reduce the bioavailability of PAHs to sediment-dwelling organisms. The roles of the various factors that modify the bioavailability of PAHs should be considered, along with the recommended ISQGs and PELs, in site-specific assessments of PAHs in sediments.

Currently, the degree to which PAHs will be bioavailable at particular sites cannot be predicted conclusively from physicochemical sediment characteristics or attributes of endemic organisms. Nonetheless, the incidence of adverse biological effects associated with exposure to PAHs increases as concentrations of PAHs increase in a range of sediment types (Figures 1 to 19). Therefore, the recommended Canadian ISQGs and PELs for PAHs will be useful in assessing the ecotoxicological significance of PAHs in sediments.

## References

- Carr, R.S. 1993. Sediment quality assessment survey of the Galveston Bay System. Galveston Bay National Estuary Program Report, GBNEP-30.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1995. Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME EPC-98E. Prepared by Environment Canada, Guidelines Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa. [Reprinted in Canadian environmental quality guidelines, Chapter 6, Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999, Winnipeg.]
- CEPA (Canadian Environmental Protection Act), R.S., 1985. c. 16 (4th Supp.).
- de Voogt, P., B. van Hattum, P. Leonards, J.C. Klamer, and H. Govers. 1991. Bioconcentration of polycyclic heteroaromatic hydrocarbons in the guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquat. Toxicol.* 20:169-194.
- DeWitt, T.H., R.J. Ozretich, R.C. Swartz, J.O. Lamberson, D.W. Schultz, G.R. Ditsworth, J.K.P. Jones, L. Hoselton, and L.M. Smith. 1992. The influence of organic matter quality on the toxicity and partitioning of sediment-associated fluoranthene. *Environ. Toxicol. Chem.* 11:197-208.
- Duffus, J.H. 1980. *Environmental toxicology*. A. Cottrell and T.R.E. Southwood, eds. Edward Arnold, Ltd., London.
- Environment Canada. 1998. Canadian sediment quality guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): Supporting document. Environmental Conservation Service, Ecosystem Science Directorate, Science Policy and Environmental Quality Branch, Guidelines and Standards Division, Ottawa. Draft.
- Falk-Petersen, I.-G., L.J. Saethre, and S. Lönning. 1982. Toxic effects of naphthalene and methyl-naphthalenes on marine plankton organisms. *Sarsia* 67(3):171-178.

mixture concentration of  $327 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$  (approximately  $73.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  for all PAHs in the sediment), 38% mortality was observed in *Diporeia* spp. after 19 d, while 28% mortality was observed after 26 d. In sublethal tests, at the highest concentration of  $327 \text{ nmol}\cdot\text{g}^{-1}$  ( $73.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), 17% avoidance of sediment was reported for *Diporeia* spp. after 72 and 144 h (Landrum et al. 1991).

In spiked-sediment toxicity tests with marine sediments, higher levels of organic carbon in the sediment have been shown to reduce the toxicity of PAHs to benthic organisms. For example, Swartz et al. (1990) examined the acute toxicity of bulk concentrations of fluoranthene to *Rhepoxynius abronius*, a marine benthic amphipod, in sediments containing 0.18%, 0.31%, and 0.48% TOC. The 10-d  $\text{LC}_{50}$ s, based on measured concentrations of fluoranthene, were  $3.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $6.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , and  $10.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectively. These results suggest that organic matter can modify the toxicity of PAHs to marine benthic organisms.

Results of both marine and freshwater spiked-sediment toxicity tests indicate that toxic levels of PAHs are consistently above the ISQGs, confirming that the guidelines are concentrations below which adverse biological effects will rarely occur. Further, these studies provide additional evidence that toxic levels of PAHs in sediments are greater than or similar to the PELs, confirming that effects are more likely to be observed when concentrations of PAHs exceed the PELs. The ISQGs and PELs for PAHs are therefore expected to be valuable tools for assessing the ecotoxicological relevance of PAHs in sediments.

## Concentrations

It was beyond the scope and intent of the original document (Environment Canada 1998) to present an extensive review of concentrations of PAHs in Canadian sediments. Instead, several case studies were presented to illustrate the measured concentrations of PAHs at locations in various proximities to anthropogenic sources. Sediment chemistry data from three marine and three freshwater areas were reviewed to provide examples of the concentrations of PAHs reported in Canadian sediments (Environment Canada 1998). These areas were chosen because data were available from recent studies and because the areas reflect a variety of sources of PAHs and degrees of contamination. The marine areas included Sydney Harbour, Nova Scotia; Vancouver Harbour, British Columbia; and the Mackenzie River delta, Northwest Territories. The freshwater areas included northern rivers and lakes from the Northern Rivers Basin Study in Alberta; Hamilton Harbour, Ontario; and the watersheds of 13 rivers in Quebec, including a freshwater section of the St. Lawrence River.

Of the three marine areas, sediments from the Mackenzie River delta had the lowest concentrations of PAHs, sediments from Vancouver Harbour were intermediate in concentration, and the highest concentrations were measured in Sydney Harbour. For example, the mean concentration of acenaphthene was  $8.1 > 5.2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in the Mackenzie River delta and ranged from 10 to  $480 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in Vancouver Harbour and  $14 \times 10^3$  to  $490 \times 10^3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in Sydney Harbour. For naphthalene, the mean concentration in sediments from the Mackenzie River delta was  $76 > 39 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; whereas concentrations in Vancouver Harbour ranged from  $<10$  to  $1170 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  and from  $208 \times 10^3$  to  $17 \times 10^6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in Sydney Harbour.

The concentrations of PAHs in the freshwater sediments reviewed were generally lower than those reported for the marine sediments. Of the three freshwater areas, concentrations were lowest in the Northern River Basins Study area, concentrations in Quebec rivers were intermediate, whereas concentrations in Hamilton Harbour were typically an order of magnitude higher. For example, concentrations of benzo(a)pyrene ranged from 6.0 to  $21.3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in the Northern River Basins Study area,  $<20$  to  $345 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  for freshwater rivers in Quebec, and 120 to  $69\,000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in Hamilton Harbour. For phenanthrene, concentrations ranged from 15 to  $142.2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in sediments from the Northern River Basins Study area,  $<20$  to  $752 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in Quebec, and 260 to  $189\,000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  in Hamilton Harbour.

## Additional Considerations

Regardless of the origin of PAHs in sediments, aquatic organisms may be adversely affected by exposure to elevated levels. As is evident in Figures 1 to 19, the occurrence of adverse biological effects cannot be precisely predicted from concentration data alone, particularly in the concentration ranges between the ISQGs and PELs. The likelihood of adverse biological effects occurring in response to exposure to PAHs at a particular site depends on the sensitivity of individual species and the endpoints examined. In addition, the bioavailability of PAHs is influenced by several factors, including physicochemical properties of the PAH (e.g., molecular weight and  $K_{ow}$ ), geochemical factors (e.g., total organic matter content and particle size), and biological factors (e.g., feeding behaviour and life stage) (Environment Canada 1998). For example, in bivalve mollusks, higher rates of bioaccumulation of PAHs have been observed in deposit feeders than in suspension feeders (Roesijadi et al. 1978; Foster et al. 1987).

The bioavailability of sediment-associated PAHs is also influenced by their source. For example, Paine et al. (1996) reported that PAHs associated with coal, coke, or

Reference listing:

Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

For further scientific information, contact:

Environment Canada  
Guidelines and Standards Division  
351 St. Joseph Blvd.  
Hull, QC K1A 0H3  
Phone: (819) 953-1550  
Facsimile: (819) 953-0461  
E-mail: [ceqg-rcqe@ec.gc.ca](mailto:ceqg-rcqe@ec.gc.ca)  
Internet: <http://www.ec.gc.ca>

For additional copies, contact:

CCME Documents  
c/o Manitoba Statutory Publications  
200 Vaughan St.  
Winnipeg, MB R3C 1T5  
Phone: (204) 945-4664  
Facsimile: (204) 945-7172  
E-mail: [spccme@chc.gov.mb.ca](mailto:spccme@chc.gov.mb.ca)

© Canadian Council of Ministers of the Environment 1999  
Excerpt from Publication No. 1299; ISBN 1-896997-34-1

Aussi disponible en français.



- Foster, G.D., S.M. Baksi, and J.C. Means. 1987. Bioaccumulation of trace organic contaminants from sediments by Baltic clams (*Macoma balthica*) and soft-shell clams (*Mya arenaria*). *Environ. Toxicol. Chem.* 6:969-976.
- Government of Canada. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons: Canadian Environmental Protection Act Priority Substances List Assessment Report. Environment Canada and Health Canada, Ottawa.
- Goyette, D., and J. Boyd. 1989. The relationship between polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) concentrations in sediment and the prevalence of liver lesions in English sole (*Parophrys vetulus*) from Vancouver Harbour 1985/86 and 1987. Environment Canada, Conservation and Protection, Environmental Protection, Pacific and Yukon Region, Marine Programs. Draft.
- Harkey, G.A., P.L. Van Hoof, and P.F. Landrum. 1995. Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons from a historically contaminated sediment core. *Environ. Toxicol. Chem.* 14(9):1551-1560.
- Heitkamp, M.A., and C.E. Cerniglia. 1987. Effects of chemical structure and exposure on the microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in freshwater and estuarine ecosystems. *Environ. Toxicol. Chem.* 6:535-546.
- Ingersoll, C.G., W.G. Brumbaugh, A.M. Farag, T.W. La Point, and D.F. Woodward. 1992. Effects of metal-contaminated sediment, water, and diet on aquatic organisms. Second draft of the final report for the USEPA Milltown Endangerment Assessment Project. National Fisheries Contaminant Research Center, U.S. Fish and Wildlife Service, Columbia, MO. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Helena, MT.
- Landrum, P.F. 1989. Bioavailability and toxicokinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons sorbed to sediments for the amphipod *Pontoporeia hoyi*. *Environ. Sci. Technol.* 23(5):588-594.
- Landrum, P.F., B.J. Eadie, and W.R. Faust. 1991. Toxicokinetics and toxicity of a mixture of sediment-associated polycyclic aromatic hydrocarbons to the amphipod *Diporeia* (sp). *Environ. Toxicol. Chem.* 10:35-46.
- Landrum, P.F., W.S. Dupuis, and J. Kukkonen. 1994. Toxicokinetics and toxicity of sediment-associated pyrene and phenanthrene in *Diporeia* spp.: Examination of equilibrium-partitioning theory and residue-based effects for assessing hazard. *Environ. Toxicol. Chem.* 13(11):1769-1780.
- Lotufo, G.R. 1997. Toxicity of sediment-associated PAHs to an estuarine copepod: Effects on survival, feeding, reproduction and behavior. *Mar. Environ. Res.* 44(2):149-166.
- Malins, D.C., M.M. Krahn, D.W. Brown, L.D. Rhodes, M.S. Myers, B.B. McCain, and S.-L. Chan. 1985a. Toxic chemicals in marine sediment and biota from Mukilteo, Washington: Relationships with hepatic neoplasms and other hepatic lesions in English sole (*Parophrys vetulus*). *J. Nat. Cancer Inst.* 74:487-494.
- Malins, D.C., M.M. Krahn, M.S. Myers, L.D. Rhodes, D.W. Brown, C.A. Krone, B.B. McCain, and S.-L. Chan. 1985b. Toxic chemicals in sediments and biota from a creosote-polluted harbor: Relationships with hepatic neoplasms and other hepatic lesions in English sole (*Parophrys vetulus*). *Carcinogenesis* 6(10):1463-1469.
- McElroy, A.E., J.W. Farrington, and J.M. Teal. 1989. Bioavailability of PAHs in the aquatic environment. In: *Metabolism of PAHs in the aquatic environment*, U. Varanasi, ed. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Moore, J.W., and S. Ramamoorthy. 1984. Aromatic hydrocarbons: Polycyclics. In: *Organic chemicals in natural waters: Applied monitoring and impact assessment*, R.S. DeSanto, ed. Springer-Verlag, New York.
- Neff, J.M. 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: Sources, fate and biological effects. Applied Science Publishers, Ltd., Essex, England.
- . 1984. Bioaccumulation of organic micropollutants from sediments and suspended particulates by aquatic animals. *Fresenius J. Anal. Chem.* 319:132-136.
- . 1985. Polycyclic aromatic hydrocarbons. In: *Fundamentals of aquatic toxicology: Methods and applications*, G.M. Rand and S.R. Petrocelli, eds. Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- NRCC (National Research Council of Canada). 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: Formation, sources, fate and effects on aquatic biota. NRC Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality. Publication No. NRCC 18981. Ottawa.
- Paine, M.D., P.M. Chapman, P.J. Allard, M.H. Murdoch, and D. Minifie. 1996. Limited bioavailability of sediment PAH near an aluminum smelter: Contamination does not equal effects. *Environ. Toxicol. Chem.* 15(11):2003-2018.
- Ringuette, S., A. Germain, C. Gonthier, and F. Perron. 1993. Presence of PAHs in the Canadian environment: An overview. Priority Substances List Supporting Document No.2. Prepared for Environment Canada, Conservation and Protection, Quebec Region, Montreal.
- Rodgers, J.H., K.L. Dickson, F.Y. Saleh, and C.A. Staples. 1987. Bioavailability of sediment-bound chemicals to aquatic organisms: Some theory, evidence and research needs. In: *Fate and effects of sediment-bound chemicals in aquatic systems*, SETAC Special Publication Series, K.L. Dickson, A.W. Maki, and W.A. Brungs, eds. Pergamon Press, New York.
- Roesijadi, G.J., J.W. Anderson, and J.W. Blaylock. 1978. Uptake of hydrocarbons from marine sediments contaminated with Prudhoe Bay crude oil: Influence of feeding type of test species and availability of polycyclic aromatic hydrocarbons. *J. Fish. Res. Board Can.* 35:608-614.
- Sloof, W., J.A. Janus, A.J. Matthijsen, G.K. Montizaan, and J.P.M. Ros. 1989. Integrated criteria document PAHs. Report No. 758474011. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Biltoven, The Netherlands.
- Stewart, K.M., and R.S. Thompson. 1995. Fluoranthene as a model toxicant in sediment studies with *Chironomus riparius*. *J. Aquat. Ecosyst. Health* 4:231-238.
- Suedel, B.C., and J.H. Rodgers, Jr. 1991. Variability of bottom sediment characteristics of the continental United States. *Water Res. Bull.* 27:101-109.
- Swartz, R.C., D.W. Schults, T.H. DeWitt, G.R. Ditsworth, and J.O. Lamberson. 1990. Toxicity of fluoranthene in sediment to marine amphipods: A test of the equilibrium partitioning approach to sediment quality criteria. *Environ. Toxicol. Chem.* 9:1071-1080.
- Trucco, R.G., F.R. Engelhardt, and B. Stacey. 1983. Toxicity, accumulation, and clearance of aromatic hydrocarbons in *Daphnia pulex*. *Environ. Pollut. (Ser. A)* 31:191-202.
- Uthe, J.F. 1991. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment. *Can. Chem. News* 43(7):25-27.
- Wilson, S.C., and K.C. Jones. 1993. Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs): A review. *Environ. Pollut.* 81(3):229-249.
- Wood, L.W., P. O'Keefe, and B. Bush. 1997. Similarity analysis of PAH and PCB bioaccumulation patterns in sediment-exposed *Chironomus tentans* larvae. *Environ. Toxicol. Chem.* 16(2):283-292.



**6.5 Anexo 5: Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Introduction.**





## Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life

## INTRODUCTION

As chemicals or substances are released into the environment through natural processes or human activities, they may enter aquatic ecosystems and partition into the particulate phase. These particles may be deposited into the bed sediments where the contaminants may accumulate over time. Sediments may therefore act as long-term reservoirs of chemicals to the aquatic environment and to organisms living in or having direct contact with sediments. Because sediments comprise an important component of aquatic ecosystems, providing habitat for a wide range of benthic and epibenthic organisms, exposure to certain substances in sediments represents a potentially significant hazard to the health of the organisms. Effective assessment of this hazard requires an understanding of relationships between concentrations of sediment-associated chemicals and the occurrence of adverse biological effects. Sediment quality guidelines are scientific tools that synthesize information regarding the relationships between the sediment concentrations of chemicals and any adverse biological effects resulting from exposure to these chemicals.

This chapter provides information regarding the derivation and implementation of Canadian sediment quality guidelines. In addition, detailed chemical-specific fact sheets have been developed for those chemicals for which national guidelines have been derived.

Sediment quality guidelines provide scientific benchmarks, or reference points, for evaluating the potential for observing adverse biological effects in aquatic systems. The guidelines are derived from the available toxicological information according to the formal protocol established by the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME 1995). The protocol, reprinted in this chapter for reference, includes general guidance on the implementation of sediment quality guidelines, in conjunction with other relevant information, in order to prioritize and focus sediment quality assessments. The formal protocol used to derive sediment quality guidelines relies on both a modification of the National Status and Trends Program (modified NSTP) approach and the spiked-sediment toxicity test (SSTT) approach.

To derive sediment quality assessment values, the modified NSTP approach uses data from North American field-collected sediments that contain chemical mixtures (Long and Morgan 1990; Long 1992; Long and

MacDonald 1992; MacDonald 1994; CCME 1995; Long et al. 1995). Synoptically collected chemical and biological data ("co-occurrence data") are evaluated from numerous individual studies to establish an association between the concentration of each chemical measured in the sediment and any adverse biological effect observed.

The co-occurrence data are compiled in a database referred to as the Biological Effects Database for Sediments (BEDS) in order to calculate two assessment values. The lower value, referred to as the threshold effect level (TEL), represents the concentration below which adverse biological effects are expected to occur rarely. The upper value, referred to as the probable effect level (PEL), defines the level above which adverse effects are expected to occur frequently. By calculating TELs and PELs according to a standard formula, three ranges of chemical concentrations are consistently defined: (1) the minimal effect range within which adverse effects rarely occur (i.e., fewer than 25% adverse effects occur below the TEL), (2) the possible effect range within which adverse effect occasionally occur (i.e., the range between the TEL and PEL), and (3) the probable effect range within which adverse biological effects frequently occur (i.e., more than 50% adverse effects occur above the PEL). The definitions of these ranges are based on the assumption that the potential for observing toxicity resulting from exposure to a chemical increases with increasing concentration of the chemical in the sediment (Long et al. 1995). The definition of the TEL is consistent with the definition of a Canadian sediment quality guideline. The PEL is recommended as an additional sediment quality assessment tool that can be useful in identifying sediments in which adverse biological effects are more likely to occur.

The SSTT approach involves an independent evaluation of information from spiked-sediment toxicity tests for estimating the concentration of a chemical below which adverse effects are not expected to occur. In this approach, an SSTT value is derived using data from controlled laboratory tests in which organisms are exposed to sediments spiked with known concentrations of a chemical or specific mixture of chemicals. Such studies provide quantifiable cause-and-effect relationships between the concentration of a chemical in sediments and the observed biological response (e.g., survival, reproductive success, or growth). Spiked-sediment toxicity tests may also be used to determine the extent to

which environmental conditions modify the bioavailability of a chemical, and ultimately the response of organisms exposed to the spiked sediments.

Minimum toxicological data requirements have been set for the SSTT approach to ensure that the derived SSTT values provide adequate protection to aquatic organisms. Spiked-sediment toxicity tests that meet the minimum data requirements are currently available only for cadmium in marine (and estuarine) sediments. In addition, concerns regarding spiked-sediment toxicity testing methodology limit the degree to which these values may be used as the scientific basis for recommending sediment quality guidelines at this time.

Subsequent to an evaluation of the toxicological information, Canadian sediment quality guidelines are recommended if information exists to support both the modified NSTP and the SSTT approaches. (These are referred to as *full* sediment quality guidelines.) Generally, the lower of the two values derived using either approach is recommended as the Canadian sediment quality guideline. Interim sediment quality guidelines (ISQGs) are recommended if information is available to support only one approach.

The guidelines may also be derived to reflect predictive relationships that have been established between the concentration of the chemical in sediments, and any environmental factor or condition that may influence the toxicity of a specific chemical (e.g., sediment characteristics, such as total organic carbon content [TOC] or acid volatile sulphides [AVS]; or water column characteristics, such as hardness). Consideration of these relationships will increase the applicability of guidelines to a wide variety of sediments throughout Canada.

If insufficient information exists to derive interim guidelines using either the modified NSTP approach or the SSTT approach, guidelines from other jurisdictions are evaluated and may be provisionally adopted in the short term as ISQGs. Further details on the derivation and evaluation of Canadian ISQGs and PELs for both freshwater and marine sediments are outlined in the protocol (CCME 1995, reprinted in this chapter).

Canadian ISQGs are recommended for total concentrations of chemicals in freshwater and marine surficial sediments (i.e., top 5 cm), as quantified by standardized analytical protocols for each chemical. For the analytical quantification of metals in sediments, the choice of digestion method is dependent on the intended use of the results (e.g., for quantification of the bioavailable fraction or for geochemical evaluation). Because ISQGs are intended to be used for evaluating the potential for biological effects, "near-total" trace metal

extraction methods that remove the biologically available fraction of metals and not residual metals (i.e., those metals held within the lattice framework of the sediment) are recommended for determining sediment metal concentrations. A strong extraction method using hydrofluoric acid would remove both the bioavailable and residual fractions of metals in the sediment. Therefore in this chapter, the concentration of "total" metal refers to the concentration of metal recovered using a near-total (mild digestion; e.g., aqua regia, nitric acid, or hydrochloric acid) method.

To date, spiked-sediment toxicity data are limited; therefore, ISQGs, which are derived using only the modified NSTP approach (i.e., the TEL), are reported instead of full sediment quality guidelines. Currently, ISQGs and PELs are recommended for 31 chemicals or substances (7 metals, 13 PAHs, and 11 organochlorine compounds). Tables 1 and 2 list the chemicals and corresponding ISQGs and PELs that are recommended for freshwater and marine (including estuarine) sediments as well as the percentages of adverse biological effects found within concentration ranges surrounding the ISQGs and PELs. Although these sediment quality guidelines are considered interim at this time, they should not be used differently than if they were full sediment quality guidelines. During their application, it should however be recognized that these values reflect associative information only because insufficient reliable spiked-sediment toxicity data currently exist to evaluate cause-and-effect relationships.

Sediment quality guidelines have a broad range of potential applications, as do other environmental quality guidelines. They can serve as goals or interim targets for national and regional toxic chemical management programs, as benchmarks or targets in the assessment and remediation of contaminated sites, or as the basis for the development of site-specific objectives. They may also be used as environmental benchmarks for international discussions on emission reductions, as environmental guidelines on trade agreements, in reports on the state of regional or national sediment quality, in the assessment of the efficacy of environmental regulations, in evaluations of potential impacts of developmental activities, and in the design, implementation, and evaluation of sediment quality monitoring programs. Despite the variety of potential uses, sediment quality guidelines are likely to be routinely applied as screening tools in the site-specific assessment of the potential risk of exposure to chemicals in sediment and in formulating initial management decisions (e.g., acceptability for open-water disposal, required remediation, further site investigation, and prioritization of sites).

In the application of the existing framework for assessing sediment quality, it is important to recognize that

- 6.6 Anexo 6: Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Carcinogenic and Other PAHs. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. [Disponible en [www.ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/320/](http://www.ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/320/)].





## Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health

## POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS 2010

This fact sheet provides Canadian soil quality guidelines for commonly occurring unsubstituted polycyclic aromatic hydrocarbons for the protection of environmental and human health (Table 1; Figure 1 and 2 provide instructions on how to implement the PAH guidelines at a contaminated site). The guideline was developed in 2008 and revised in 2010 to improve the understanding of how to implement the PAH soil quality guidelines. A detailed scientific supporting document is also available (CCME 2010). CCME soil quality guidelines for naphthalene and benzo[a]pyrene were previously developed in 1997. These 2010 values supersede the 1997 guidelines.

### Background Information

The contamination of soil by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) is widespread in Canada due to the near ubiquitous nature of its major sources: namely, the release of various petroleum hydrocarbon or coal-derived products and the production of PAHs through a variety of combustion processes/types such as vehicle exhaust or a wide variety of industrial processes.

PAHs are a group of complex hydrocarbons comprised of two or more fused benzenoid rings. In addition to anthropogenic sources, some PAHs also occur naturally - primarily as combustion byproducts or the modification of plant-derived terpenoids and heterocyclic compounds. Forest fires and volcanic eruptions are natural sources of some PAHs.

In general, PAHs become increasingly less soluble in water with an increasing number of benzenoid or other rings, and increasing molecular weight. Naphthalene, a two-ring PAH, is the most soluble, with an estimated aqueous solubility of around  $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  at  $25^\circ\text{C}$ . Indeno[1,2,3-c,d]pyrene, a six-ring PAH, has a much more limited aqueous solubility at room temperature of approximately  $2.2 \times 10^{-5} \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Lower molecular weight PAHs also tend to be more volatile (i.e., have a higher vapour pressure) and more readily partition into air from pure water (i.e., have a higher Henry's Law constant). For example, the vapour pressure and Henry's Law constant of naphthalene are  $8.5 \times 10^{-2} \text{ mm Hg}$  and  $4.83 \times 10^{-4} \text{ atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ , respectively, while those for indeno[1,2,3-c,d]pyrene are  $1.0 \times 10^{-10} \text{ mm Hg}$  and  $1.6 \times 10^{-6} \text{ atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ , respectively.

Much of the scientific, regulatory, and public interest in PAHs is based on the potential role of these substances as cancer-causing agents. This set of Canadian soil quality guidelines specifically addresses existing management gaps for PAH-contaminated soils in Canada where there is concern about human health risks associated with exposure to potentially carcinogenic PAHs such as benzo[a]pyrene and other PAHs with similar modes of action but of different potency, or concern about ecological non-cancer effects of the broader suite of unsubstituted PAHs.

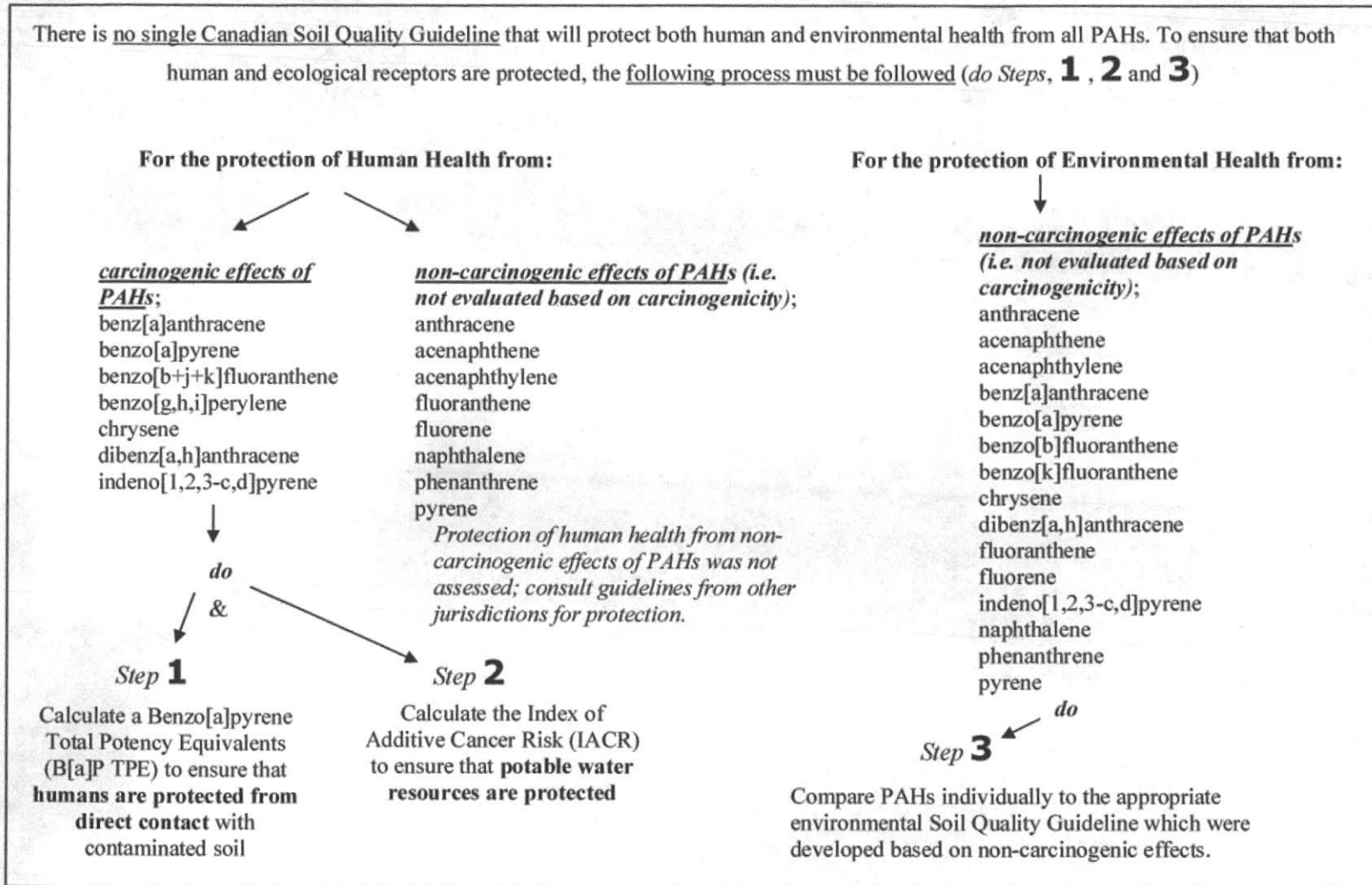
The unsubstituted PAHs that are known or strongly suspected to act as carcinogens in humans and other mammals include:

- benz[a]anthracene,
- benzo[a]pyrene,
- benzo[b]fluoranthene,
- benzo[j]fluoranthene,
- benzo[k]fluoranthene,
- chrysene,
- dibenz[a,h]anthracene,
- benzo[g,h,i]perylene, and
- indeno[1,2,3-c,d]pyrene.

In addition to the sixteen or so "unsubstituted" PAHs that are commonly analyzed in North America in environmental samples, there are hundreds of PAH compounds containing nitrogen (N-) or sulfur (S-) atoms within the carbon rings (heterocyclics), and/or with various side chains attached to the aromatic ring structure. Alkyl-substituted PAHs, in particular, are common constituents of petrogenic (petroleum-derived) PAH mixtures. Too little is currently known, however, about the environmental fate and toxicity (either for humans or various other living organisms) to enable development of Canadian Soil Quality Guidelines for alkyl-PAHs.

PAHs are found in environmental samples almost always as complex mixtures, with minor exceptions; for example, in cases where naphthalene has been used and released in the absence of other PAH compounds. This necessitates some consideration of the risks and related environmentally-acceptable soil thresholds of the entire suite of PAHs present, not just of individual PAHs. Any possible approach for dealing with environmental risks of mixtures involves a number of trade-offs in terms of the ability of the approach to account for compositional variability across sites; toxicological variability across

Figure 1. How to apply Canadian Soil Quality Guidelines for PAHs at a contaminated site.



**Table 1: Soil Quality Guidelines for Carcinogenic and Other PAHs (mg·kg<sup>-1</sup>)**

IMPORTANT NOTE (1): Assess the hazard to human health from carcinogenic effects of PAHs by doing steps **1** and **2**. Assess the hazard to environmental health from non-carcinogenic effects of PAHs by doing step **3** (see Figure 1 and 2, and factsheet text for more detail).

IMPORTANT NOTE (2): For soil contaminated with coal tar or creosote mixtures, the calculated Benzo[a]pyrene Total Potency Equivalents (B[a]P TPE) concentration for soil samples should be multiplied by a safety factor of 3 prior to comparison with the SQG<sub>DH</sub> to account for carcinogenic potential of alkylated and other PAHs present for which a Potency Equivalence Factor (PEF) does not currently exist, but which are likely to contribute to mixture carcinogenic potential.

	Land Use				
	Agricultural	Residential/ Parkland	Commercial	Industrial	
<b>Guideline</b> – see table caption IMPORTANT NOTE (1)					
<b>Step 1</b> Human health guidelines based on carcinogenic effects of PAHs (see footnote c or d for carcinogenic PAHs)					
1	Direct contact (SQG <sub>DH</sub> ) – 10 <sup>-6</sup> <sup>a</sup>	0.6 B[a]P TPE <sup>c</sup>	0.6 B[a]P TPE <sup>c</sup>	0.6 B[a]P TPE <sup>c</sup>	0.6 B[a]P TPE <sup>c</sup>
	Direct contact (SQG <sub>DH</sub> ) – 10 <sup>-5</sup> <sup>b</sup>	5.3 B[a]P TPE <sup>c</sup>	5.3 B[a]P TPE <sup>c</sup>	5.3 B[a]P TPE <sup>c</sup>	5.3 B[a]P TPE <sup>c</sup>
2	Protection of potable water (SQG <sub>PW</sub> )	IACR ≤ 1.0 <sup>d</sup>	IACR ≤ 1.0 <sup>d</sup>	IACR ≤ 1.0 <sup>d</sup>	IACR ≤ 1.0 <sup>d</sup>
<b>Step 3</b> Environmental health guidelines based on non-carcinogenic effects of PAHs (do not use these values to protect humans; for carcinogenic PAHs consult the Human health guidelines above; to protect humans from non-carcinogenic effects of PAHs consult guidelines from other jurisdictions; if a PAH displays both cancer and non-cancer effects to humans, protect human health based on the threat from cancer)					
3	Anthracene (SQG <sub>E</sub> )	2.5	2.5	32	32
	Benzo[a]pyrene (SQG <sub>E</sub> )	20	20	72	72
	Fluoranthene (SQG <sub>E</sub> )	50	50	180	180
	Naphthalene	0.013 <sup>e</sup>	0.013 <sup>e</sup>	0.013 <sup>e</sup>	0.013 <sup>e</sup>
	Phenanthrene	0.046 <sup>e</sup>	0.046 <sup>e</sup>	0.046 <sup>e</sup>	0.046 <sup>e</sup>
	Benz[a]anthracene (CCME 1991)	0.1	1	10	10
	Benzo[b]fluoranthene <sup>f</sup> (CCME 1991)	0.1	1	10	10
	Benzo[k]fluoranthene <sup>f</sup> (CCME 1991)	0.1	1	10	10
	Benzo[b+j+k]fluoranthene <sup>f</sup>	0.1	1	10	10
	Dibenz[a,h]anthracene (CCME 1991)	0.1	1	10	10
	Indeno[1,2,3-c,d]pyrene (CCME 1991)	0.1	1	10	10
	Pyrene (CCME 1991)	0.1	10	100	100

Notes: SQG<sub>DH</sub> = human health-based soil quality guideline for direct contact; SQG<sub>E</sub> = soil quality guideline for environmental health; SQG<sub>PW</sub> = soil quality guideline for the protection of potable water.

<sup>a</sup> SQG based on an incremental lifetime cancer risk (ILCR) of 1 in 1,000,000 (10<sup>-6</sup>).

<sup>b</sup> SQG based on an incremental lifetime cancer risk (ILCR) of 1 in 100,000 (10<sup>-5</sup>).

<sup>c</sup> B[a]P TPE = Benzo[a]pyrene Total Potency Equivalents, which is the sum of estimated cancer potency relative to B[a]P for all potentially carcinogenic unsubstituted PAHs. The B[a]P TPE for a soil sample is calculated by multiplying the concentration of each PAH in the sample by its B[a]P Potency Equivalence Factor (PEF), given below, and summing the products (see Figure 2 for B[a]P TPE example calculation including PAH mixtures found in coal tar or creosote).

B[a]P Potency Equivalence Factors:

Benz[a]anthracene	0.1	Benzo[g,h,i]perylene	0.01	Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	0.1
Benzo[a]pyrene	1	Chrysene	0.01		
Benzo[b+j+k]fluoranthene	0.1	Dibenz[a,h]anthracene	1		

<sup>d</sup> The Index of Additive Cancer Risk (IACR) assesses potential threats to potable groundwater water quality from leaching of carcinogenic PAH mixtures from soil. The IACR is calculated by dividing the soil concentration (numerator) of each carcinogenic PAH by its soil quality guideline for protection of potable water component value (denominator) to calculate a hazard index for each PAH, and then summing the hazard indices for the entire PAH mixture, as follows (see Figure 2 for IACR example calculation):

$$IACR = \frac{[Benz(a)anthracene]}{0.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benzo(b+j+k)fluoranthene]}{0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benzo(g,h,i)perylene]}{6.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benz(a)pyrene]}{0.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Chrysene]}{2.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Dibenz(a,h)anthracene]}{0.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Indeno(1,2,3-c,d)pyrene]}{2.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

<sup>e</sup> This value is the Soil Quality Guideline for the Protection of Freshwater Life. Users may wish to consider the application, on a site-specific basis, of this value where potential impacts to nearby surface waters are a concern (the value may be less than the common limit of detection in some jurisdictions; contact jurisdiction for guidance). If impact to surface water is not a concern, it is recommended to revert to the 1997 provisional SQG<sub>E</sub> for naphthalene and the 1991 Interim Soil Quality Criteria for phenanthrene (see Table 2).

<sup>f</sup> Resolution between benzo[b]fluoranthene and benzo[k]fluoranthene gas chromatograph peaks may be difficult to achieve. When these two PAHs cannot be reported separately, report them as the sum of benzo[b+j+k]fluoranthene and compare this value to the guideline for the combined 3 isomers.



different taxa and soil types; and the possibility of non-additive effects (synergistic or antagonistic interactions, for example) of individual constituents in the mixture.

Developing soil quality guidelines for PAHs is particularly challenging because there is likely to be more than one toxicological mode of action in an exposed organism, and the causal linkages between exposure and actual effect at the whole organism level are complex and likely to involve many intermediate steps. The reader is encouraged to read the detailed scientific rationale for the development of these PAH soil quality guidelines (CCME 2008a) to better understand the inherent assumptions and limitations.

### Environmental Fate and Behaviour in Soil

PAHs are relatively hydrophobic organic substances (WHO/IPCS 1998). The tendency of PAHs to partition in organic matter, onto particle surfaces, and into biological lipids (and out of aqueous environmental compartments such as groundwater) generally increases with an increase in the number of benzenoid rings in the aromatic ring structure (from 2 rings for naphthalene to 6 rings for benzo[g,h,i]perylene). Overall, the unsubstituted PAHs occur along a spectrum of hydrophobicity and lipophilicity, from naphthalene with an octanol-water partition coefficient ( $K_{ow}$ ) of approximately  $2 \times 10^3$  to benzo[g,h,i]perylene with a  $K_{ow}$  of  $4 \times 10^6$ . There are approximately three to six orders of magnitude difference between naphthalene and benzo[g,h,i]perylene in aqueous solubility, tendency to partition from hydrophobic organic matter into water, vapour pressure at room temperature, and tendency to partition between water and air (Henry's Law Constant).

The most important fate processes in soils, especially for the higher molecular weight PAHs, are adsorption and biodegradation. These PAHs remain tightly sorbed to soils, and especially the five- to six-ringed PAHs may exhibit a very limited bioavailability to terrestrial organisms based on soil contact or to aquatic organisms based on groundwater-mediated transfer.

Microbial degradation of PAHs in the soil environment is generally the most important process accounting for intermediate to long-term changes in substance levels over time (USEPA 1990; Wild *et al.* 1991). Resistance to microbial degradation in either soils or water tends to increase with the molecular weight and number of rings, as well. Whereas naphthalene tends to be readily degraded in most situations, PAHs with four, five, or six rings tends to be degraded much more slowly. In general, biodegradation in an aerobic environment occurs much more rapidly than in an anaerobic environment (Neff 1979).

### Behaviour and Effects in Biota

#### Microbial Processes

Considerable scientific information is available on the role of microbes in the environmental biodegradation of PAHs, and on factors that influence microbial uptake and degradation rates. Total microbial abundance and biomass in soil can increase at some sites owing to the ability of heterotrophic microbial consortia to utilize the PAHs as an energy source, either alone or through co-metabolism with other substances. One aspect of PAH fate and effects that is often overlooked is the potential risks at a contaminated site associated with the presence of various microbial metabolites, such as dihydroxy-PAH.

Very few studies have been carried out on the tendency of individual PAHs or PAH-containing mixtures to adversely affect the ability of naturally-occurring mixed microbial communities to participate in the cycling within the ecosystem of energy, carbon, nitrogen, sulphur, phosphorus, and other macro- or micronutrients. PAHs in soils at individual concentrations in the low parts-per-million range have the potential to affect microbially-mediated functional processes such as nitrification rates (Sverdrup *et al.* 2002a).

#### Terrestrial Plants

Limited data are available on the toxicity to plants of PAHs in soils. Soil concentrations of individual PAHs that have been associated with reduced plant growth are in the range of approximately 30 to  $>2,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . The available information, however, is generally limited to commonly tested agronomic species. Further, for each individual PAH there are generally insufficient data for enough plant species to confidently construct a plant sensitivity distribution; for many PAHs, no phytotoxicity data exist.

Plants exhibit very limited ability to accumulate PAHs from soils, and to translocate PAHs from root tissue into aboveground biomass (Simonich and Hites 1995). Low molecular weight PAHs (i.e., with two, three or four rings) may be taken up by roots and translocated within the plant, but do not appear to accumulate or magnify in concentration relative to concentrations in the soil (EPRI 1992). High molecular weight PAHs (i.e., five or more rings) may sorb to plant roots, but are not expected to translocate or accumulate within the plant (EPRI 1992). Risks to herbivores, therefore, from PAH uptake into plant tissue are likely to be very low relative to the risks associated with the incidental ingestion of soil.



### *Terrestrial Invertebrates*

One of the primary modes of toxicity of PAHs to soil invertebrates, based on direct exposure in the soil environment, is non-polar narcosis; i.e., epidermal uptake of PAHs from soil pore water and/or dietary intake and partitioning into body lipid (Sverdrup *et al.* 2002b). More specific modes of PAH toxicity cannot be discounted, however.

Reproductive impairment in most soil invertebrates chronically exposed to PAHs or other contaminants tends to occur at much lower soil concentrations than acute or sub-chronic mortality. Most soil invertebrates are well adapted to short periods of stress (e.g., during periods of extreme cold or desiccation) and therefore have a potential to use physiological and/or behavioural stressor avoidance mechanisms. However, such mechanisms are typically accompanied by periods of non-feeding so that long-term survival, and - more specifically - fecundity, may be adversely affected. Tests on PAH-contaminated soils based on short-term mortality to earthworms, collembolans, or other soil invertebrate taxa may under-predict the true risks to soil invertebrate communities.

Given that uptake into lipids from the soil environment is likely to be a major factor for determining subsequent toxicological responses in soil invertebrates, the organic-carbon water partition co-efficient of the individual PAHs is likely to directly influence the soil concentration at which adverse effects would be observed.

As for all hydrophobic organic contaminants, the bioavailability and subsequent toxicity of PAHs to soil invertebrates exhibits high variability across different soil types. Further, there is a limited ability to predict the degree of toxicity as an alternative to using laboratory toxicity tests to measure it.

Toxicity data for various earthworm and springtail species were available for individual PAHs. For a full summary, refer to CCME (2008a).

### *Livestock and Wildlife*

One of the major knowledge gaps in PAH ecotoxicology is in the area of effects on terrestrial vertebrate fauna, including adult life-stages of amphibians, reptiles, birds, and small to large mammalian herbivores, omnivores, and carnivores. The current understanding of potential risks of PAHs to livestock or wildlife is based almost entirely on laboratory rodent studies, which have been conducted primarily in support of a greater

understanding of human health risks. A major emphasis of available research has been on cancer-type effects.

Biochemical stress responses and biomarkers of PAH exposure (e.g., hydroxypyrene in blood and urine) have been examined in a limited number of wildlife species, but the relevance of such data for predicting organism and population fitness has yet to be determined.

Possible effects of various PAHs on exposed livestock and wildlife species include but are not limited to mortality, growth, reproductive impairment, teratogenesis, endocrine disruption, liver and kidney damage, neurobehavioural changes, altered thermoregulatory ability, and cancer induction.

There is an absence in the scientific literature of observational data from chronic as opposed to sub-chronic or acute exposures, detailed wildlife epidemiological studies, or multi-generational studies.

Some indirect information is available on PAH toxicity to wildlife based on the exposures in the laboratory to whole crude oil, or in the field following large scale accidental spills of crude oil. Effects of crude oil on mallard ducks, American kestrels, and herring gulls have been examined. These studies are of limited value, however, in assessing the risks of PAH-contaminated soils.

A full summary of the available toxicity data for various PAHs on mammalian and avian species is provided in CCME (2008a).

### **Human and Experimental Animal Health Effects**

Many major reviews of human cancer and other risks from PAHs have been completed within the last decade (WHO/IPCS 1998; ATSDR 1995; Boström *et al.* 2002; WHO 2003; WHO/IPCS 2004; others). One of the major drivers for the large degree of scientific and regulatory concern is based on the presence of PAHs in urban air particulates, and associated risks of inhalation exposures in human populations.

Total daily PAH intake for humans for the general American population was estimated by Santodonato *et al.* (1981) to vary from 0.2 to about 20  $\mu\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ , excluding those individuals who are also occupationally exposed. The general population is primarily exposed via consumption of food and as a result of cigarette smoking. Charbroiled grilling and smoked meats may be a substantial source of PAH exposure in some human populations. Depending on an individual's lifestyle, the

life-long cumulative intake (i.e., over 70 years or greater) of benzo[a]pyrene for non-occupationally exposed humans may add up to 29 mg, integrating respiratory, gastrointestinal and percutaneous absorption.

The emphasis herein for human health effects is on cancer endpoints for those PAHs with known or expected carcinogenic potential. There is sufficient scientific information on the mechanisms of PAH-induced genotoxicity and carcinogenicity based on *in vitro* (mammalian cell culture and bacterial culture) and *in vivo* (laboratory rodent) studies to conclude that the PAHs considered herein are known or potential carcinogens. It is recommended that Health Canada be contacted directly for guidance regarding PAHs that are not covered by this guidance.

PAHs have limited ability to bind to DNA and cause mutations until they are converted to more potent intermediates (especially PAH diol-epoxides) by cytochrome P450 oxidases (CYP1A1-type enzymes).

PAHs with two or three aromatic rings (for example, naphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, fluorene, anthracene, phenanthrene) have been consistently shown to have very limited or no tendency to bind to the Ah-receptor, and to induce CYP enzymes such as EROD (*ethoxyresorufin-O-deethylase*) (Bosveld *et al.* 2002). It is suggested that these lighter molecular weight PAHs do not meet the structural requirements for having an affinity to bind to the Ah-receptor. Bosveld and other researchers (reviewed in Bosveld *et al.* 2002) found that benzo[k]fluoranthene was among the most potent inducers of EROD or reporter gene activity *in vitro*.

The mechanisms of PAH carcinogenesis are described in greater detail in CCME (2008a).

A major challenge in assessing the cancer risks of human exposures to PAH-containing mixtures is that no whole organism sub-chronic or chronic studies have been completed on the carcinogenicity of individual PAHs other than benzo[a]pyrene (B[a]P). It is therefore not possible to confidently and directly develop cancer slope factors for the potentially carcinogenic PAHs other than B[a]P. Instead, the evaluation of human cancer risks internationally has tended to be based on the use of B[a]P relative potencies, derived from whole animal studies with dermal, implantation, inhalation, oral or other exposure methods. The tumour incidence from studies of B[a]P is compared with incidence for the other PAHs under the same or similar conditions in order to estimate the cancer potency of the other PAHs relative to B[a]P.

Limited attempts to validate B[a]P relative potency schemes have suggested a poor relationship between the predicted and observed carcinogenicity of certain PAH-containing mixtures, notably coal tar and creosote. The tendency of benzo[a]pyrene relative potency schemes to under-estimate coal tar carcinogenicity might be due to the presence of unaccounted for carcinogens in the mixture. In particular, Harvey *et al.* (2000) and Koganti *et al.* (2001) found that 7H-benzo[c]fluorene, a major constituent of coal tars, strongly induced DNA-adduct formation. Therefore, the use of relative potency schemes may under-predict the severity of cancer risks for coal tar and creosote.

### Guideline Derivation

Canadian soil quality guidelines are derived for different land uses following the process outlined in CCME (2006) using different receptors and exposure scenarios for each land use. Detailed derivations for these soil quality guidelines are provided in CCME (2008a).

### Soil Quality Guidelines for Environmental Health

Environmental soil quality guidelines (SQGE) are based on soil contact using data from toxicity studies on plants and invertebrates. In the case of agricultural use, soil and food ingestion toxicity data for mammalian and avian species are included. To provide a broader scope of protection, a nutrient and energy cycling check is calculated where the data permit. For commercial and industrial land uses, an off-site migration check is also calculated.

There were insufficient soil contact data for the PAHs, acenaphthene, acenaphthylene, benz[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[g,h,i]perylene, chrysene, dibenz[a,h]anthracene, fluorene, indeno[1,2,3-c,d]pyrene, phenanthrene, and pyrene, using either the preferred weight-of-evidence method (CCME 2006) or secondary derivation methods. Direct contact soil quality guidelines were calculated for fluoranthene and benzo[a]pyrene using a weight-of-evidence approach, and for anthracene based on selection of the lowest LOEC for agricultural and residential/parkland land uses and based on the geometric mean value of three suitable LOEC values for commercial and industrial land uses (Table 2).

Given the current limitations of our scientific understanding, the inability to calculate direct soil contact soil quality guidelines for the majority of the PAHs may be of little practical significance to the overall achievement of environmental protection goals at Canadian contaminated sites. The direct soil contact

soil quality standards recently promulgated as the Canada-Wide Standards for Petroleum Hydrocarbons (PHC CWS) might account for contributions to toxic responses of soil invertebrates and plants for several of these unsubstituted PAHs as well as alkyl-substituted forms. The PHC CWS were derived using newly generated ecotoxicity data on a fractionated Federated crude oil in a standardized (OECD) soil type as well as a relatively fine-grained Chernozem loam soil. No corrections were made for the presence of PAHs in the petroleum mixtures.

More work is required, however, to establish the relevance of the PHC CWS to managing PAH risks to soil organisms. Those with responsibility for contaminated sites investigation and management may need to look beyond the generic guidance for protecting soil ecological functioning if there exists a contaminant mixture which exhibits very high PAH concentrations relative to other petroleum-derived hydrocarbons.

Soil quality guidelines for the protection of freshwater life ( $SQG_{FL}$ ) were derived using the CCME (2006) protocol for all PAHs for which CCME water quality guidelines for the protection of aquatic life exist (naphthalene, acenaphthene, fluorene, anthracene, phenanthrene, pyrene, fluoranthene, benz[a]anthracene, and benzo[a]pyrene). For the remaining PAHs, an attempt was made to calculate  $SQG_{FL}$  values by assuming a narcosis-type mode of action in the aquatic receiving environment and a Critical Body Residue-based threshold for chronic effects equivalent to 3.0 mmol PAH·kg<sup>-1</sup> lipid (Di Toro *et al.* 2000). This derivation procedure is beyond the guidance provided in CCME (2006), but is virtually identical to the procedure used in the derivation of aquatic life protective soil concentration thresholds for the PHC CWS (CCME 2008b). Only one additional  $SQG_{FL}$  was determined using the critical body residue approach, and that was for acenaphthylene.

For agricultural and residential/parkland land uses, soil and food ingestion by cows as a representative livestock species, and mule deer, meadow voles and American robins as representative wildlife species, were considered. For most PAHs, only a provisional soil and food ingestion guideline ( $SQG_I$ ) could be derived, due to lack of sufficient data (with the exception of naphthalene for which a full  $SQG_I$  was derived) (Table 2). The  $SQG_I$  values presented in Table 2 are for the protection of secondary consumers (based on soil and food ingestion for American robins).  $SQG_{IS}$  for the protection of primary consumers are orders of magnitude higher (see CCME 2008a for  $SQG_{IS}$  for primary consumers). Note that the provisional  $SQG_I$  values were not used in determining the overall  $SQG_E$ .

For protection of the non-human environment, soil quality guidelines recommended for agricultural, residential/parkland, commercial and industrial sites are outlined in Table 2.

#### Soil Quality Guidelines for Human Health

Human health soil quality guidelines ( $SQG_{HH}$ ) for non-threshold (carcinogenic) contaminants require the development of soil quality guidelines that employ a critical risk-specific dose (RsD), based on incremental lifetime cancer risks (ILCRs) from exposure to PAH-contaminated soil. For all land uses, the adult was chosen as the receptor when considering lifetime cancer risk. For non-threshold contaminants, human exposure should be reduced to the maximum extent possible. Some jurisdictions in Canada have adopted an "essentially negligible" ILCR of 10<sup>-5</sup> (or 1 in 100,000) for managing risks of carcinogenic contaminants, while other jurisdictions use an ILCR of 10<sup>-6</sup> (or 1 in 1,000,000). In light of this, soil quality guideline calculations were undertaken using both a 10<sup>-5</sup> and 10<sup>-6</sup> ILCR. Both of these incremental risks above background fall within the range considered to be "essentially negligible" in the derivation of MACs (Maximum Acceptable Concentrations) for carcinogenic chemicals in drinking water (Health and Welfare Canada 1989).

Various check mechanisms are applied, if relevant, to the preliminary human health soil quality guidelines in order to provide them with a broader scope of protection, such as the potential to adversely impact humans through the consumption of groundwater, agricultural crops and livestock.

A soil quality guideline for the protection of potable water ( $SQG_{PW}$ ) was derived for potentially carcinogenic PAHs. An off-site migration check was not carried out, since the preliminary  $SQG_{HH}$  for commercial and industrial land uses were the same as for the more sensitive land uses. Nor was a produce, meat and milk check carried out, since PAHs exhibit very limited potential for food-web mediated transfer.

For protection against cancer risks in humans, it is recommended that the benzo[a]pyrene Total Potency Equivalents (B[a]P TPE) in soil be established at a threshold value of 0.6 mg·kg<sup>-1</sup> for an ILCR of 10<sup>-6</sup> and 5.3 mg·kg<sup>-1</sup> for an ILCR of 10<sup>-5</sup> for all land uses.

In 1996, Health Canada developed a human health protective soil quality guideline for benzo[a]pyrene with a value of 1.5 mg·kg<sup>-1</sup> (CCME 1999). Of all possible human exposure pathways, the 1996 guideline



accounted only for the oral exposure route, and was based on a risk-specific dose (RsD) of  $0.000435 \mu\text{g benzo[a]pyrene}\cdot\text{kg bw}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$  for an incremental cancer risk of  $10^{-6}$ , based in turn on a cancer slope factor of  $2.3 (\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1})^{-1}$ .

This calculation was revised herein to also account for possible dermal and particulate inhalation uptake of benzo[a]pyrene from site soils. The critical study (Neal and Rigdon 1967) consulted by Health Canada (1996) and adopted herein used an orally administered, not absorbed, dose. A relative absorption factor for inhalation and ingestion is assumed to be 100%, by default. This factor assumes that the bioavailability of PAHs in soil will be the same as the bioavailability of PAHs in the food administered to the test animals in the critical study used to derive the risk specific dose. The magnitude of dermal absorption is not expected to be similar to oral absorption. Therefore a dermal absorption factor of 34% was derived based on the available literature.

Shatkin *et al.* (2002) developed a fugacity model to predict dermal uptake of benzo[a]pyrene from soil, and compared the model predictions with nine experimental data points, which agreed within a factor of two. An upper bound estimate based on this study for dermal absorption over a 24 h period is 34%, which is the modeled mean plus one standard deviation.

The B[a]P TPE is calculated for potentially carcinogenic PAHs by multiplying their concentrations in soil by the following B[a]P Potency Equivalence Factors (B[a]P PEFs) and summing the products.

#### B[a]P PEFs

Benz[a]anthracene	0.1
Benzo[a]pyrene	1
Benzo[b+j+k]fluoranthene	0.1
Chrysene	0.01
Benzo[g,h,i]perylene	0.01
Dibenz[a,h]anthracene	1
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	0.1

The cancer risk for the combined exposure to potentially carcinogenic PAHs is assumed to be additive, but this is a source of uncertainty. The soil B[a]P TPE is intended to ensure that incremental lifetime cancer risk from soil ingestion, inhalation and dermal exposure does not exceed  $1 \times 10^{-6}$  or  $1 \times 10^{-5}$ . Initially, an uncertainty factor was considered for application in deriving the B[a]P TPE, since limited attempts to validate B[a]P relative potency schemes have shown a potential for the under-prediction of human cancer risks. It was felt that an uncertainty factor was not justified for most contaminant mixture types. However, a 3-fold

uncertainty factor should be applied to soils contaminated with coal tar or creosote to account for the risks associated with other potentially carcinogenic PAHs present, but not included in the PEF scheme. In practice, the B[a]P TPE concentration for such site soils should be multiplied by a factor of three (3) prior to comparison with the  $\text{SQG}_{\text{DH}}$ . In cases where site information is insufficient to determine whether PAH contamination has resulted from a coal tar or creosote source, the uncertainty factor should be applied.

The above-listed PEFs were also used to produce B[a]P equivalent values in potable water for benz[a]anthracene, benzo[b+j+k]fluoranthene, chrysene, benzo[g,h,i]perylene, dibenz[a,h]anthracene, and indeno[1,2,3-c,d]pyrene (CCME 2008a). The PAHs were treated individually, since different compounds within PAH mixtures would be expected to exhibit differing potential for groundwater-mediated transport (i.e., based on orders of magnitude difference in organic carbon-water ( $K_{\text{OC}}$ ) partition co-efficients). Therefore, soil-to-potable water-based risks of individual PAHs were modeled to derive soil quality guideline for the protection of potable water ( $\text{SQG}_{\text{PW}}$ ) component values for individual carcinogenic PAHs. It should be noted that the individual  $\text{SQG}_{\text{PW}}$  component values are not stand alone soil quality guidelines. Rather, each has been incorporated into the "Index of Additive Cancer Risks" (IACR) equation, to account for the combined effects of individual PAHs in the mixture (Tables 1 and 2). The resulting IACR value is equivalent to a hazard index and should not exceed a value of 1.0. Therefore, the final  $\text{SQG}_{\text{PW}}$  is expressed as  $\text{IACR} \leq 1$ .

Although not specified in the CCME (2006) protocol, a set of soil PAH threshold values was also calculated for human health risks based on acute exposures of infants potentially engaged in pica soil ingestion. The soil PAH thresholds were calculated assuming short-term PAH exposures only, via oral ingestion, and threshold mechanisms of toxicity as opposed to non-threshold (carcinogenic) ones. Toddlers (6 months to 4 years of age) have been observed to engage in "pica" soil ingestion. Per U.S. EPA guidance, it was assumed that a child involved in pica soil ingestion may consume a maximum of  $5,000 \text{ mg soil}\cdot\text{day}^{-1}$ . ATSDR (1995) did not develop any acute oral Minimal Risk Levels (MRLs) for PAHs due to the absence of guiding studies. However, there are four ATSDR (1995) MRLs developed for intermediate exposures (15 to 364 days): acenaphthene:  $0.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ , anthracene:  $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ , fluoranthene:  $0.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$  and fluorene:  $0.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ . The calculated soil threshold values for the four individual PAHs based on pica exposure in infants were all greater than  $1,000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Pica and other types of acute exposure, therefore, are not deemed



to be of concern for these unsubstituted PAHs based on the currently available toxicological data.

### Soil Quality Guidelines for Carcinogenic and Other PAHs

The soil quality guidelines for PAHs are intended to be protective of both environmental and human health. In contrast to normal practice where the lower of either the human health or environmental values drive the final soil quality guideline, the recommendation is that soil samples be assessed for carcinogenic effects to humans and non-carcinogenic effects to ecological receptors separately, by (1) Converting to B[a]P equivalents for comparison with the SQG<sub>DH</sub>, (2) Calculating an IACR and comparing the value to 1, and (3) Comparing soil sample concentrations for individual PAHs against the most conservative guideline developed based on non-carcinogenic effects for that land use (Table 1 and 2).

It should be noted that, although petroleum hydrocarbons (PHCs) contain PAHs, the Canada-wide Standard for Petroleum Hydrocarbons (CCME, 2008) was not developed to address the issue of carcinogenicity. Remediation of contaminated soils to meet the PHC standards will not necessarily mean that the PAH soil quality guidelines for human health protection will be met, and vice versa.

SQG for freshwater life protection (Table 2) were derived for the majority of commonly analyzed, unsubstituted PAHs, and tend to be much lower than other preliminary SQG for either human health or environmental protection. They were nonetheless determined to be greater than expected background soil PAH concentrations in other than highly urbanized and industrialized regions of Canada. The SQG<sub>FL</sub> are not reflected in the overall SQG (except for naphthalene and phenanthrene), but users may wish to consider their application on a site-specific basis where potential impacts on nearby surface water are a concern.

### References

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. ATSDR/TP-95-20. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR. Atlanta, GA.
- Boström, C.-E., P. Gerde, A. Hanberg, B. Jernström, C. Johansson, T. Kyrklund, A. Rannug, M. Törnqvist, K. Victorin and R. Westerholm. 2002. Cancer risk assessment, indicators and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. *Environ. Health Perspect.* 110 (Suppl 3):451-489.
- Bosveld, A.T.C., A.A.F. de Bie, N.W. van den Brink, H. Jongepier, and A.V. Klomp. 2002. In vitro EROD induction equivalency factors for the 10 PAHs generally monitored in risk assessment studies in the Netherlands. *Chemosphere* 49: 75-83.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1991. Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites. CCME, Winnipeg.
- . 1999. Canadian environmental quality guidelines, 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- . 2006. A protocol for the derivation of environmental and human health soil quality guidelines (update). Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. 210 pages.
- . 2008. Canada-wide standards for petroleum hydrocarbons (PHC) in soil: Scientific rationale – Supporting technical document. (update of 2000 version) CCME, Winnipeg.
- . 2008b. Canada-wide standards for petroleum hydrocarbons (PHC) in soil: Scientific rationale – Supporting technical document. (update of 2000 version) CCME, Winnipeg.
- . 2010. Canadian soil quality guidelines for potentially carcinogenic and other PAHs: Scientific criteria document. CCME, Winnipeg. 216 pages.
- Di Toro, D.M., J.A. McGrath and D.J. Hansen. 2000. Technical basis for narcotic chemicals and polycyclic aromatic hydrocarbon criteria. I. Water and tissue. *Environ Toxicol. Chem.* 19: 1951-1970.
- EPRI (Electric Power Research Institute). 1992. Uptake, translocation, and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetation. EPRI TR-101651, Project 2879-10, Interim Report, December 1992. Prepared by Oak Ridge National Laboratory.
- Harvey, R.G., L.S. Goldstein, T.A. Roy, F.J. Zhang, A. Koganti, R. Singh, K. Rozett, N. Modi, and E.H. Weyand. 2000. 7H-benzo[c]fluorene: a major DNA adduct-forming component of coal tar. *Carcinogenesis* 21: 1601-1609.
- Health Canada. 1996. Canadian soil quality guidelines for contaminated sites. Human health effects: Benzo[a]pyrene. Final report. Prepared for the National Contaminated Sites Remediation Program, Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Health and Welfare Canada. 1989. Derivation of Maximum Acceptable Concentrations and Aesthetic Objectives for Chemicals in Drinking Water. In: *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality - Supporting Documentation*. Prepared by the Federal-Provincial Subcommittee on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health. Ottawa.
- Koganti, A., R. Singh, B.L. Ma, and E.H. Weyand. 2001. Comparative analysis of PAH:DNA adducts formed in the lung of mice exposed to neat coal tar and soils contaminated with coal tar. *Environ. Sci. Technol.* 35(13): 2704-2709.
- Neal, J. and R.H. Rigdon. 1967. Gastric tumors in mice fed benzo[a]pyrene: A quantitative study. *Tex. Rep. Biol. Med.* 25:553-557.
- Neff, J.M. 1979. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment. Sources, Fates and Biological Effects, Applied Science Publishers Ltd., Essex, England, 262 p.
- Santodonato, J., P. Howard, and D. Basu. 1981. Health and Ecological Assessment of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. *J. Environ. Pathol. Toxicol* 5:1-36.
- Shatkin, J.A., M. Wagle, S. Kent and C.A. Menzies. 2002. Development of a biokinetic model to evaluate dermal absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil. *Human Ecol. Risk Assess* 8: 713-734.
- Simonich, S.L., and R.A. Hites. 1995. Organic pollutant accumulation in vegetation. (Critical Review). *Environ. Sci. Technol.* 29(12): 2905-2914.
- Sverdrup, L. E., F. Ekelund, P.H. Krogh, T. Nielsen, and K. Johnsen. 2002a. Soil microbial toxicity of eight polycyclic aromatic

- compounds: Effects on nitrification, the genetic diversity of bacteria, and the total number of protozoans. *Environ. Toxicol. Chem.* 21:1644-1650.
- Sverdrup, L.E., T. Nielsen, and P. H. Krogh. 2002b. Soil ecotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in relation to soil sorption, lipophilicity, and water solubility. *Environ. Sci. Technol.* 36: 2429-2435.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1990. Chemical Fate Rate Constants for SARA Section 113 Chemicals and Superfund Health Evaluation Manual Chemicals, Office of Toxic Substances, Washington, DC, 6-02-425.
- WHO/IPCS. 1998. Environmental Health Criteria 202: Selected Non-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon. International Program on Chemical Safety, United Nations Environmental Program, World Health Organization.
- WHO. 2003. World Health Organization. Polynuclear aromatic hydrocarbons in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/SDE/WSH/03.04/59.
- WHO/IPCS. 2004. Concise International Chemical Assessment Document 62: Coal Tar Creosote. International Program on Chemical Safety, United Nations Environmental Program, World Health Organization, Geneva.
- Wild, S.R., M.L. Berrow, and K.C. Jones. 1991. The persistence of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) in sewage sludge amended agricultural soils. *Environ. Pollut.* 72: 141-157

Table 2. Soil Quality Guidelines for Carcinogenic and Other PAHs (mg·kg<sup>-1</sup>)

IMPORTANT NOTE (1): There is no single final Soil Quality Guideline (SQ<sub>F</sub>) for any of the PAHs included in this guideline that will protect both human and environmental health. To ensure that both human and ecological receptors are protected, the user must (1) calculate a Benzo[a]pyrene Total Potency Equivalents (B[a]P TPE) to ensure that humans are protected from direct contact with soil contaminated with carcinogenic PAHs, (2) calculate the Index of Additive Cancer Risk (IACR) to ensure that potable water resources are protected from carcinogenic PAHs, and (3) consider all relevant guidelines to protect ecological receptors from non-carcinogenic effects, in this table, for the land use in question.

IMPORTANT NOTE (2): For soil contaminated by coal tar or creosote mixtures, the calculated Benzo[a]pyrene Total Potency Equivalents (B[a]P TPE) concentration for soil samples should be multiplied by a safety factor of 3 prior to comparison with the SQ<sub>DH</sub> to account for carcinogenic potential of alkylated and other PAHs present for which a Potency Equivalent Factor (PEF) does not currently exist, but which are likely to contribute to mixture carcinogenic potential.

		Land Use				
		Agricultural	Residential/ Parkland	Commercial	Industrial	
<b>Guideline (SQ<sub>F</sub>)</b> —see table caption, IMPORTANT NOTE 1						
<b>Human health guidelines/check values based on carcinogenic effects of PAHs</b> (potentially carcinogenic PAHs are <u>benz[a]anthracene</u> , <u>benzo[a]pyrene</u> , <u>benzo[b+j+k]fluoranthene</u> <sup>m</sup> , <u>benzo[g,h,i]perylene</u> , <u>chrysene</u> , <u>dibenz[a,h]anthracene</u> , and <u>indeno[1.2.3-c,d]pyrene</u> )						
Human health guidelines/check values	SQ <sub>HH</sub>	NC	NC	NC	NC	
	Direct contact <sup>a</sup> (SQ <sub>DH</sub> ) – ingestion, inhalation, and dermal exposures					
	1×10 <sup>-6</sup> incremental lifetime cancer risk	0.6 B[a]P TPE <sup>b</sup>	0.6 B[a]P TPE <sup>b</sup>	0.6 B[a]P TPE <sup>b</sup>	0.6 B[a]P TPE <sup>b</sup>	
	1×10 <sup>-5</sup> incremental lifetime cancer risk	5.3 B[a]P TPE <sup>b</sup>	5.3 B[a]P TPE <sup>b</sup>	5.3 B[a]P TPE <sup>b</sup>	5.3 B[a]P TPE <sup>b</sup>	
	Protection of indoor air quality (SQ <sub>IAQ</sub> )	NC	NC	NC	NC	
	Off-site migration (SQ <sub>OM-HH</sub> )	-	-	NC	NC	
	Protection of potable water (SQ <sub>FW</sub> )	IACR≤1.0 <sup>c</sup>	IACR≤1.0 <sup>c</sup>	IACR≤1.0 <sup>c</sup>	IACR≤1.0 <sup>c</sup>	
Produce, meat, and milk (SQ <sub>FL</sub> )	NC	NC	-	-		
<b>Environmental health guidelines/check values based on non-carcinogenic effects of PAHs</b> (do not use these values to protect humans; for carcinogenic PAHs consult the Human health guidelines above; to protect humans from non-carcinogenic effects of PAHs consult guidelines from other jurisdictions; if a PAH displays both cancer and non-cancer effects to humans, protect human health based on the threat from cancer)						
<b>Environmental health guideline values for Acenaphthene</b>						
Environmental health guidelines/check values	SQ <sub>E</sub> <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC	
	Soil contact (SQ <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC	
	Soil and food ingestion (SQ <sub>I</sub> )	21.5 <sup>e</sup>	21.5 <sup>e</sup>	-	-	
	Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQ <sub>FL</sub> )	0.28 <sup>g</sup>	0.28 <sup>g</sup>	0.28 <sup>g</sup>	0.28 <sup>g</sup>	
	Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	no value	no value	no value	no value	
	<b>Environmental health guideline values for Acenaphthylene</b>					
	SQ <sub>E</sub> <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC	
Soil contact (SQ <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC		
Soil and food ingestion (SQ <sub>I</sub> )	NC	NC	-	-		
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQ <sub>FL</sub> )	320 <sup>h</sup>	320 <sup>h</sup>	320 <sup>h</sup>	320 <sup>h</sup>		
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	no value	no value	no value	no value		

Continued...

**POLYCYCLIC AROMATIC  
HYDROCARBONS**

**Canadian Soil Quality Guidelines for the  
Protection of Environmental and Human Health**

	Land Use			
	Agricultural	Residential/ Parkland	Commercial	Industrial
<b>Environmental health guideline values for <u>Anthracene</u></b>				
SQG <sub>E</sub> <sup>d</sup>	2.5 <sup>p</sup>	2.5 <sup>p</sup>	32 <sup>p</sup>	32 <sup>p</sup>
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	2.5	2.5	32	32
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	61.5 <sup>e</sup>	61.5 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	no value	no value	no value	no value
<b>Environmental health guideline values for <u>Benz[a]anthracene</u></b>				
SQG <sub>E</sub> <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	6.2 <sup>e</sup>	6.2 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	0.1 <sup>j</sup>	1 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>
<b>Environmental health guideline values for <u>Benzo[a]pyrene</u></b>				
SQG <sub>E</sub> <sup>d</sup>	20 <sup>k</sup>	20 <sup>k</sup>	72 <sup>k</sup>	72 <sup>k</sup>
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	20	20	72	72
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	0.6 <sup>e</sup>	0.6 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	8800 <sup>g</sup>	8800 <sup>g</sup>	8800 <sup>g</sup>	8800 <sup>g</sup>
Provisional SQG <sub>E</sub> (CCME 1997)	0.7	0.7	1.4	1.4
<b>Environmental health guideline values for <u>Benzo[b]fluoranthene</u></b>				
SQG <sub>E</sub> <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	6.2 <sup>e</sup>	6.2 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	0.1 <sup>j</sup>	1 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>
<b>Environmental health guideline values for <u>Benzo[k]fluoranthene</u></b>				
SQG <sub>E</sub> <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	6.2 <sup>e</sup>	6.2 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	0.1 <sup>j</sup>	1 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>
<b>Environmental health guideline values for <u>Benzo[g,h,i]perylene</u></b>				
SQG <sub>E</sub> <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	NC	NC	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>	NA <sup>h,i</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	no value	no value	no value	no value

Environmental health guidelines/check values

Continued...



	Land Use			
	Agricultural	Residential/ Parkland	Commercial	Industrial
<b>Environmental health guideline values for <u>Chrysene</u></b>				
SQGE <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	6.2 <sup>e</sup>	6.2 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	no value	no value	no value	no value
<b>Environmental health guideline values for <u>Dibenz[a,h]anthracene</u></b>				
SQGE <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	NC	NC	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	0.1 <sup>j</sup>	1 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>
<b>Environmental health guideline values for <u>Fluoranthene</u></b>				
SQGE <sup>d</sup>	50 <sup>p</sup>	50 <sup>p</sup>	180 <sup>p</sup>	180 <sup>p</sup>
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	50	50	180	180
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	15.4 <sup>e</sup>	15.4 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>gi</sup>	NA <sup>gi</sup>	NA <sup>gi</sup>	NA <sup>gi</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	no value	no value	no value	no value
<b>Environmental health guideline values for <u>Fluorene</u></b>				
SQGE <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	15.4 <sup>e</sup>	15.4 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	0.25 <sup>B</sup>	0.25 <sup>B</sup>	0.25 <sup>B</sup>	0.25 <sup>B</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	no value	no value	no value	no value
<b>Environmental health guideline values for <u>Indeno[1,2,3-c,d]pyrene</u></b>				
SQGE <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	NC	NC	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>	NA <sup>hi</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	0.1 <sup>j</sup>	1 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>	10 <sup>j</sup>
<b>Environmental health guideline values for <u>Naphthalene</u></b>				
SQGE <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	8.8	8.8	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	0.013 <sup>g1</sup>	0.013 <sup>g1</sup>	0.013 <sup>g1</sup>	0.013 <sup>g1</sup>
Provisional SQGE (CCME 1997)	0.6 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>
<b>Environmental health guideline values for <u>Phenanthrene</u></b>				
SQGE <sup>d</sup>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	43.0 <sup>e</sup>	43.0 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	0.046 <sup>g1</sup>	0.046 <sup>g1</sup>	0.046 <sup>g1</sup>	0.046 <sup>g1</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	0.1 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	50 <sup>o</sup>	50 <sup>o</sup>

Environmental health guidelines/check values

Continued...

	Land Use			
	Agricultural	Residential/ Parkland	Commercial	Industrial
<b>Environmental health guideline values</b>				
<b>for Pyrene</b>				
<b>SQGE<sup>d</sup></b>	NC	NC	NC	NC
Soil contact (SQG <sub>SC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Soil and food ingestion (SQG <sub>I</sub> )	7.7 <sup>e</sup>	7.7 <sup>e</sup>	-	-
Protection of freshwater life <sup>f</sup> (SQG <sub>FL</sub> )	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>	NA <sup>g,i</sup>
Interim Soil Quality Criteria (CCME 1991)	0.1 <sup>q</sup>	10 <sup>q</sup>	100 <sup>q</sup>	100 <sup>q</sup>
<b>The following guidelines/check pathways were evaluated for all PAHs appearing in the environmental section</b>				
Livestock Watering (SQG <sub>LW</sub> )	NC	-	-	-
Irrigation Water (SQG <sub>IR</sub> )	NC	-	-	-
Nutrient and energy cycling check (SQG <sub>NEC</sub> )	NC	NC	NC	NC
Off-site migration check (SQG <sub>OM-E</sub> )	-	-	NC	NC

Notes: NA = not applicable; NC = not calculated; SQGE = soil quality guideline for environmental health; SQG<sub>HH</sub> = soil quality guideline for human health; SQG<sub>I</sub> = soil quality guideline for protection of livestock and wildlife based on soil and food ingestion; SQG<sub>IR</sub> = soil quality guideline for the protection of irrigation water; SQG<sub>IAQ</sub> = soil quality guideline for the protection of indoor air quality; SQG<sub>F</sub> = final soil quality guideline (for protection of environmental and human health); SQG<sub>LW</sub> = soil quality guideline for protection of livestock based on water consumption; SQG<sub>NEC</sub> = soil quality guideline check value for the protection of nutrient and energy cycling; SQG<sub>PW</sub> = soil quality guideline for the protection of potable groundwater; SQG<sub>OM-E</sub> = soil quality guideline check value for off-site migration of soils in consideration of environmental health risks; SQG<sub>OM-HH</sub> = soil quality guideline check value for off-site migration of soils in consideration of human health risks; SQG<sub>SC</sub> = soil quality guideline for soil contact by soil-dependent organisms (e.g., plants and invertebrates). The dash indicates a guideline/check value that is not part of the exposure scenario for this land use and therefore is not calculated.

<sup>a</sup> Guideline values for toddler pica soil ingestion have also been calculated for benzo[a]pyrene, acenaphthene, fluorene, anthracene and fluoranthene, but are several orders of magnitude higher than the direct contact guidelines. For more details on the pica guidelines, refer to section 7.1.4 of the scientific supporting document (CCME, 2008a).

<sup>b</sup> B[a]P TPE = Benzo[a]pyrene Total Potency Equivalents, which is the sum of estimated cancer potency relative to B[a]P for all potentially carcinogenic unsubstituted PAHs. The B[a]P TPE for a soil sample is calculated by multiplying the concentration of each PAH in the sample by its B[a]P Potency Equivalence Factor (PEF), given below, and summing these products (see Figure 2 for B[a]P TPE example calculation including PAH mixtures found in coal tar or creosote). B[a]P PEFs are order of magnitude estimates of carcinogenic potential and are based on the World Health Organization (WHO/IPCS 1998) scheme, as follows:

Benz[a]anthracene	0.1	Benzo[g,h,i]perylene	0.01	Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	0.1
Benzo[a]pyrene	1	Chrysene	0.01		
Benzo[b+j+k]fluoranthene	0.1	Dibenz[a,h]anthracene	1		

<sup>c</sup> The Index of Additive Cancer Risk (IACR) assesses potential threats to potable groundwater water quality from leaching of carcinogenic PAH mixtures from soil. The IACR is calculated by dividing the soil concentration (numerator) of each carcinogenic PAH by its soil quality guideline for protection of potable water component value (denominator) to calculate a hazard index for each PAH, and then summing the hazard indices for the entire PAH mixture, as follows (see Figure 2 for IACR example calculation):

$$IACR = \frac{[Benz(a)anthracene]}{0.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benzo(b+j+k)fluoranthene]}{0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benzo(g,h,i)perylene]}{6.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benz(a)pyrene]}{0.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Chrysene]}{2.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Dibenz(a,h)anthracene]}{0.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Indeno(1,2,3-c,d)pyrene]}{2.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

The potable water component values were derived using a drinking water Maximum Allowable Concentration of 0.00001 mg/L for benzo(a)pyrene and the B[a]P PEFs listed in footnote b above, and the soil-to-groundwater model described in Appendix C of CCME (2006).

<sup>d</sup> The SQG<sub>E</sub> is based on the lowest of the available environmental health guidelines (soil contact, soil and food ingestion, or protection of freshwater life). For PAHs where a soil contact guideline was not available, an overall SQG<sub>E</sub> was not calculated.

<sup>e</sup> This guideline is considered provisional because minimum data requirements, as outlined in CCME (2006), were not met. The value is presented for users to consider applying at their own discretion, but it has not been used to determine the overall SQG<sub>E</sub> recommended here.

<sup>f</sup> Modeling assumptions include the absence of biodegradation of PAHs in the subsurface environment, a highly conservative assumption.

- <sup>g</sup>  $SQG_{FL}$  for freshwater life protection back-calculated based on CCME (2006) protocol, using pre-existing CCME Water Quality Guidelines (Freshwater Life) (CCME 1999).
- <sup>h</sup>  $SQG_{FL}$  for freshwater life protection back-calculated from theoretically derived freshwater life thresholds based on baseline (narcosis-type) toxicity along with a Critical Body Residue (CBR) approach, assuming an internalized dose for aquatic life of 3.0 mmol PAH·kg<sup>-1</sup> lipid is a threshold for chronic, non-lethal toxicity.
- <sup>i</sup> A freshwater life protective guideline could not be calculated based on the assumed generic site/soil properties and the  $K_{OC}$  of the PAH, since the concentration in groundwater at the point of leaching would need to far exceed the solubility limit to account for a concentration that approaches the toxicity threshold at a point 10 m down-gradient.
- <sup>j</sup> The interim soil quality criterion (CCME 1991) is retained as the environmental soil quality guideline for this land use because there was insufficient/inadequate data to calculate an  $SQG_E$  or provisional  $SQG_E$ . Consult the human health guidelines/check values to assess the human hazard of PAH mixtures containing this PAH.
- <sup>k</sup> The  $SQG_E$  is based on the soil contact guideline value. The 2008 benzo[a]pyrene  $SQG_E$  replaces the 1997 provisional benzo[a]pyrene  $SQG_E$ . Consult the human health guidelines/check values to assess the human hazard of PAH mixtures containing this PAH.
- <sup>l</sup> Users may wish to consider the application, on a site-specific basis, of the Soil Quality Guideline for the Protection of Freshwater Life where potential impacts on nearby surface water are a concern. This guideline value may be less than the common limit of detection in some jurisdictions. Consult appropriate jurisdiction for further guidance.
- <sup>m</sup> Benzo[b]fluoranthene and benzo[j]fluoranthene tend to strongly co-elute under most gas chromatographic conditions. Furthermore, resolution between benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, and benzo[k]fluoranthene is difficult to achieve when all three isomers are present in the soil matrix. Therefore, these three isomers have been considered together in deriving  $SQG_{HH}$  values.
- <sup>n</sup> Data were insufficient/inadequate to update the 1997 provisional  $SQG_E$  and no attempt was made to calculate a  $SQG_{HH}$  or provisional  $SQG_{HH}$ , therefore the 1997 provisional  $SQG_E$  is retained as the soil quality guideline for the protection of environmental health for this land use. However, if there is concern for potential impacts to water bodies, the Soil Quality Guideline for the Protection of Freshwater Life ( $SQG_{FL}$ ) should be applied. Consult other jurisdictions for the protection of human health from naphthalene.
- <sup>o</sup> Data were insufficient/inadequate data to calculate an  $SQG_E$  or provisional  $SQG_E$  and no attempt was made to calculate a  $SQG_{HH}$ , or provisional  $SQG_{HH}$ , therefore the interim soil quality criterion (CCME 1991) is retained as the environmental soil quality guideline for this land use. However, if there is concern for potential impacts to water bodies, the Soil Quality Guideline for the Protection of Freshwater Life ( $SQG_{FL}$ ) should be applied. Consult other jurisdictions for the protection of human health from phenanthrene.
- <sup>p</sup> The  $SQG_E$  is based on the soil contact guideline value.
- <sup>q</sup> Data were insufficient/adequate data to calculate an  $SQG_E$  or provisional  $SQG_E$  and no attempt was made to calculate a  $SQG_{HH}$ , or provisional  $SQG_{HH}$ , therefore the interim soil quality criterion (CCME 1991) is retained as the environmental soil quality guideline for this land use. Consult other jurisdictions for the protection of human health from pyrene.
- <sup>r</sup> Resolution between benzo[b]fluoranthene and benzo[k]fluoranthene gas chromatograph peaks may be difficult to achieve. When these two PAHs cannot be reported separately, report them as the sum of benzo[b+j+k]fluoranthene and compare this value to the guideline for benzo[b]fluoranthene.

Figure 2. Example of how to apply Canadian Soil Quality Guidelines for PAHs at a contaminated site

PAH concentration in soil (mg/kg dry weight) collected from a contaminated industrial site (fictitious data).

Acenaphthene	0.63	<b>Benzo[g,h,i]perylene</b>	<b>0.67</b>
Anthracene	1.4	<b>Chrysene</b>	<b>1.6</b>
<b>Benz[a]anthracene</b>	<b>4.5</b>	<b>Dibenz[a,h]anthracene</b>	<b>0.22</b>
<b>Benzo[a]pyrene</b>	<b>0.69</b>	<b>Indeno[1,2,3-c,d]pyrene</b>	<b>0.81</b>
<b>Benzo[b]fluoranthene</b>	<b>0.64</b>	Naphthalene	0.66
<b>Benzo[k]fluoranthene</b>	<b>0.62</b>		

(potentially carcinogenic PAHs are in bold)

Step 1

To ensure that humans are protected from direct contact with soil contaminated with carcinogenic PAHs, calculate the **Benzo[a]pyrene Total Potency Equivalents (B[a]P TPE)** using the following Equation (see factsheet text and Table 1, footnote c, for more details);

$$B[a]P \text{ TPE} = \sum_{i=1}^n (C_i \times PEF_i)$$

where,

B[a]P TPE = concentration of the carcinogenic-PAH mixture, expressed as a total potency equivalent of B[a]P

n = number of carcinogenic PAHs (with an available PEF value)

C<sub>i</sub> = concentration of carcinogenic-PAH compound i

PEF<sub>i</sub> = potency equivalence factor for the carcinogenic-PAH compound i (unitless) (see Table 1, footnote c)

Take only the carcinogenic PAHs from the above table and calculate the B[a]P TPE as follows;

$$B[a]P \text{ TPE} = (4.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \times 0.1) + (0.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \times 1) + (1.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \times 0.1) + (0.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \times 0.01) + (1.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \times 0.01) + (0.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \times 1) + (0.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \times 0.1) = 1.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Compare the B[a]P TPE of 1.6 mg·kg<sup>-1</sup> to the SQG<sub>DH</sub> in Table 1 with the desired level of acceptable risk. If the PAH mixture is found in soil co-contaminated with coal tar or creosote, the B[a]P TPE should be multiplied by a safety factor of 3 before comparison to the SQG<sub>DH</sub> as follows; B[a]P TPE = 1.6 mg·kg<sup>-1</sup> × 3 = 4.8 mg·kg<sup>-1</sup>

Step 2

To ensure that potable water resources are protected from carcinogenic PAHs, calculate the **Index of Additive Cancer Risk (IACR)** using the following equation (see factsheet text and Table 1, footnote d, for more details);

$$IACR = \frac{[Benz(a)anthracene]}{0.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benzo(b+j+k)fluoranthene]}{0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benzo(g,h,i)perylene]}{6.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Benzo(a)pyrene]}{0.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Chrysene]}{2.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Dibenz(a,h)anthracene]}{0.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}} + \frac{[Indeno(1,2,3-c,d)pyrene]}{2.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

Take only the carcinogenic PAHs from the above table and calculate the IACR as follows;

$$IACR = (4.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} / 0.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}) + (1.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} / 0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}) + (0.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} / 6.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}) + (0.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} / 0.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}) + (1.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} / 2.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}) + (0.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} / 0.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}) + (0.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} / 2.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = 25$$

The resulting IACR value, in this case = 25, is equivalent to a hazard index and should not exceed a value of 1.0 (Table 1 shows that the SQG<sub>PW</sub> should be ≤ 1).



Note that for both the B[a]P TPE and IACR calculations;

1. no carcinogenic PAH should be left out of the calculations. If PAHs are suspected at a site, soil samples should be analyzed for the full suite of carcinogenic PAHs. If analysis returns non-detects, and until further guidance, enter 1/2 the detection limit into the formulas. Consult the appropriate jurisdiction to confirm that this advice does not conflict with program policy for dealing with non-detects at contaminated sites.
2. if concentrations of benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, and benzo[k]fluoranthene are reported separately, they should be summed together and expressed as a single value for benzo[b+j+k]fluoranthene. In this example,  $\text{benzo[b+j+k]fluoranthene} = 0.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} + 0.62 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} = 1.26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

**Step 3**

To protect environmental health from non-carcinogenic effects of PAHs (i.e. hazard assessed based on non-carcinogenic modes of action), compare individual PAHs to the appropriate Soil Quality Guideline (SQG) in the bottom half of Table 1.

At this point, the cancer hazard to humans from potentially carcinogenic PAHs has been assessed by calculating the B[a]P TPE and IACR in Steps 1 and 2, respectively, above. Now the non-carcinogenic hazard of PAHs must be assessed. Note that the non-carcinogenic hazard posed by PAHs to humans was not assessed; consult guidelines from other jurisdictions for protection. Additionally, if a PAH displays both cancer and non-cancer effects to humans, protect human health based on the threat from cancer.

Take all PAH concentration data from the industrial site, and compare it to the appropriate environmental SQG from Table 1 (excerpt of which is provided below);

	Land Use			
	Agricultural	Residential/ Parkland	Commercial	Industrial
Anthracene (SQG <sub>E</sub> )	2.5	2.5	32	32 ←
Benzo[a]pyrene (SQG <sub>E</sub> )	20	20	72	72 ←
Fluoranthene (SQG <sub>E</sub> )	50	50	180	180
Naphthalene	0.013*	0.013*	0.013*	0.013* ←
Phenanthrene	0.046*	0.046*	0.046*	0.046*
Benz[a]anthracene (CCME 1991)	0.1	1	10	10 ←
Benzo[b]fluoranthene <sup>f</sup> (CCME 1991)	0.1	1	10	10 ←
Benzo[k]fluoranthene <sup>f</sup> (CCME 1991)	0.1	1	10	10 ←
Benzo[b+j+k]fluoranthene <sup>f</sup>	0.1	1	10	10
Dibenz[a,h]anthracene (CCME 1991)	0.1	1	10	10 ←
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene (CCME 1991)	0.1	1	10	10 ←
Pyrene (CCME 1991)	0.1	10	100	100

Results of comparison between PAHs at industrial site and available SQGs to protect environmental health;

- Acenaphthene : There is no SQG for the protection of environmental health reported in Table 1 for this PAH. However, Table 2 provides value(s) for individual environmental soil pathway(s) that could be developed. Consult guidelines from other jurisdictions for the protection of humans from non-carcinogenic effects of this PAH. This conclusion would also apply to acenaphthylene and fluorene if it were present at the site.
- Anthracene : The value indicated by the arrow is valid for the protection environmental health from non-carcinogenic effects of this PAH. Consult guidelines from other jurisdictions for the protection of humans from non-carcinogenic effects of this PAH.
- Benzo[a]anthracene : The value indicated by the arrow is valid for the protection of environmental health from non-carcinogenic effects of this PAH. For human health, the hazard posed by this PAH is assessed solely based on its carcinogenic potential (see Steps 1 and 2).
- Benzo[a]pyrene : Same conclusion as for benz[a]anthracene.
- Benzo[b]fluoranthene : Same conclusion as for benz[a]anthracene. Additionally, if benzo[b]fluoranthene and benzo[k]fluoranthene cannot be reported separately, report them as the sum of benzo[b+j+k]fluoranthene and compare this value to the guideline for the combined 3 isomers reported in Table 1.

Benzo[k]fluoranthene	: Same conclusion as for benzo[b]fluoranthene.
Benzo[g,h,i]perylene	: There is no SQG reported for the protection of environmental health (Table 1), or individual environmental soil pathways (Table 2) for this PAH. For human health, the hazard posed by this PAH is assessed solely based on its carcinogenic potential (see Steps 1 and 2).
Chrysene	: There is no SQG for the protection of environmental health reported in Table 1 for this PAH. However, Table 2 provides value(s) for individual environmental soil pathway(s) that could be developed. For human health, the hazard posed by this PAH is assessed solely based on its carcinogenic potential (see Steps 1 and 2).
Dibenz[a,h]anthracene	: Same conclusion as for benz[a]anthracene.
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	: Same conclusion as for benz[a]anthracene.
Naphthalene	: The value indicated by the arrow is valid for the protection of environmental health from non-carcinogenic effects of this PAH. Consult guidelines from other jurisdictions for the protection of humans from non-carcinogenic effects of this PAH.

EXAMPLE

**Reference listing:**

Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Carcinogenic and Other PAHs. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

For further scientific information, contact:

Environment Canada  
National Guidelines and Standards Office  
200 Sacré-Coeur Blvd.  
Gatineau, QC K1A 0H3  
Phone: (819) 953-1550  
E-mail: [ceqg-rcqe@ec.gc.ca](mailto:ceqg-rcqe@ec.gc.ca)  
Internet: <http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe>

For additional copies, contact:

CCME Documents  
Toll-Free Phone: (800) 805-3025  
Internet: <http://www.ccme.ca>

© Canadian Council of Ministers of the Environment 2010  
Excerpt from Publication No. 1299; ISBN 1-896997-34-1

Aussi disponible en français.

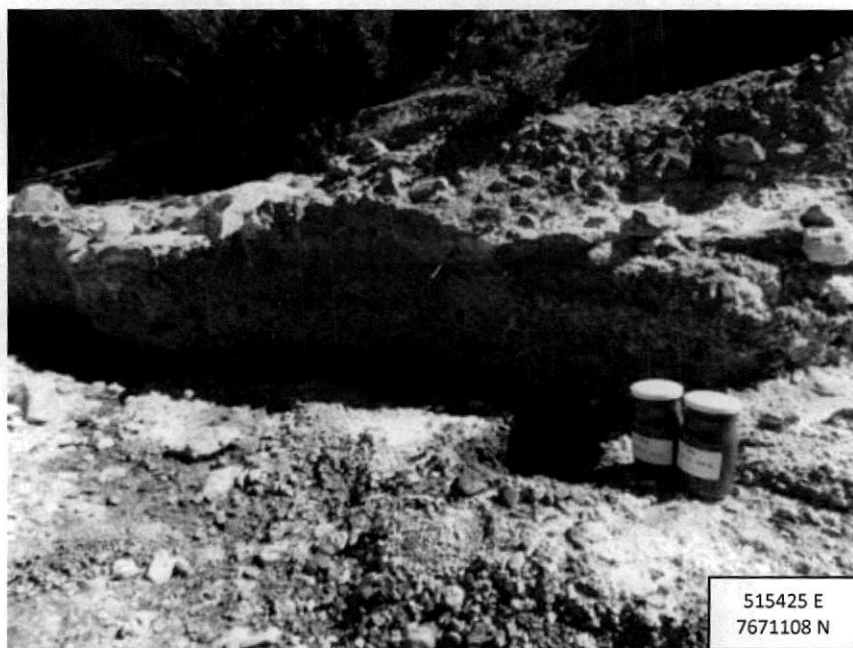
6.6 Anexo 6: Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Carcinogenic and Other PAHs. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. [Disponible en [www.ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/320/](http://www.ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/320/)].

6.7 Anexo 7: Fotografías georeferenciadas de los tramos 19, 20 y tramos colindantes



Tramo 20 seco (Imagen captada el 20-02-2013)





Tramo 18 (Imagen captada el 15-05-2013).



Toma de muestras en Tramo 19 (Imágenes captadas el 12-06-2013).



515023 E  
7670596 N

Muestras colectadas en Tramo 20 (Imagen captada el 12-06-2013).

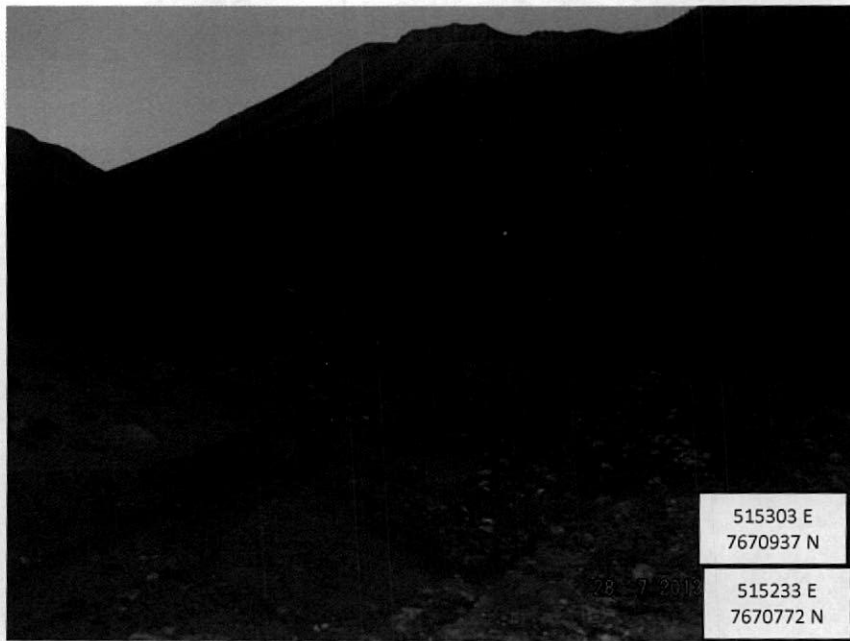


514911 E  
7670292 N

Muestras Colectadas en Tramos 21 (Imagen captada el 12-06-2013).



Inicio de Tramo 19 seco (Imágenes captadas el 27-07-2013)





Mitad y fin de Tramo 19 seco (Imágenes captadas el 27-07-2013)







Inicio, mitad y fin de Tramo 20 seco (Imágenes captadas el 27-07-2013).

**6.8 Anexo 9: Informe Interpretación de Índices NDWI, NDVI, NDSI**



**CENTRO DE ESTUDIOS EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS Ltda.**

**CPRSIG Ltda.**

Poeta Ángel Cruchaga 1789-G

Teléfonos-Fax: (56-2) 28979156 y (56-9) 7-7086522

La Reina, Santiago, Chile

**INFORME  
INTERPRETACION DE INDICES NDWI, NDVI, NDSI**

## **1. Los Índices Utilizados.**

Un método que permite destacar la información contenida en los datos captados por un sensor multiespectral es la confección de índices. Estos índices son fórmulas que relacionan dos o más bandas espectrales de forma tal que se destacan relaciones específicas entre ellas.

El Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI) relaciona la banda Infrarroja Cercana, donde la reflectancia de la vegetación es alta, con la banda del Rojo, donde se produce la máxima absorción de la clorofila contenida en la vegetación verde. Su fórmula es:

$$\text{NDVI} = (\text{IRC} - \text{R}) / (\text{IRC} + \text{R})$$

Al normalizar la diferencia, es decir dividirla por la suma de los valores, se produce la separación entre diferencias con el mismo valor pero a distinto nivel de reflectancia. Por ejemplo 180 - 50 y 140 - 10. Ambos dan una diferencia de 130 pero, en el primer caso el índice es 0.5 y en el segundo caso, el índice es 0.87. Esto significa que el segundo caso representa vegetación fotosintéticamente mas activa que el primero.

El Índice de Agua de Diferencias Normalizadas (NDWI) compara la banda del azul con el infrarrojo cercano. Este índice permite destacar cuerpos de agua superficial que sean profundos, cuando el índice tiende a cero. En el resto de los casos, este índice será positivo para ciertos tipos de suelo, zonas con sombra y agua superficial con alta reflectancia de fondo (cajas de río, espejos de agua). Este índice se confunde con el NWI (también NDWI) que utiliza la banda de absorción del agua en el Infrarrojo Medio, disponible en sensores como el ETM de Landsat.

Su fórmula es:  $\text{NDWI} = (\text{Az} - \text{IRC}) / (\text{IRC} + \text{Az})$

El Índice de Suelo de Diferencias Normalizadas (NDSI) compara los valores de la banda Roja con la Banda Verde. Se basa en que la mayoría de los suelos siempre reflejan más en la banda del rojo que en el rango del verde. Su fórmula es:

$$\text{NDWI} = (\text{R} - \text{V}) / (\text{R} + \text{V})$$

Para la imagen QuickBird, correspondiente al tramo 19 a 21 (sólo tienen 4 bandas espectrales) estos son los índices posibles de aplicar.

La contaminación por hidrocarburo debería producir un valor del índice cercano a 0 (cero) para los tres casos. Por lo tanto, si se combina en color estos tres índices, por ejemplo el NDVI en Rojo, el NDWI en Verde y el NDSI en Azul, se formarán colores diversos de acuerdo al valor particular de cada índice. La contaminación por hidrocarburo debería dar un gris oscuro, cualquiera que sea la combinación de colores elegida.

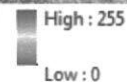
## 2. Resultados.

En general la vegetación se sitúa en las laderas y terrazas que bordean la quebrada y en islas elevadas dentro de ella, donde también se aprecian arbustos aislados que han logrado sobrevivir las crecidas y cambios del curso de agua en la quebrada misma. Las figuras siguientes muestran el NDVI, donde se ha utilizado una tabla de pseudo color para mostrar las zonas con mayor actividad fotosintética en color verde oscuro.

Al aplicar directamente el NDVI no se está considerando efectos adicionales en la imagen que generan valores de NDVI que realmente no tienen relación con vegetación. Hay tipos de suelo en los cuales la reflectancia en el IRC es mayor que en el Rojo y aparecen con un NDVI positivo. Este efecto desaparece al combinar en color los índices NDVI en rojo, NDWI en Verde y NDSI en azul. Las zonas que realmente tienen vegetación se ven en rojo y donde hay problemas de NDVI alto pero que no es vegetación activa, se verán amarillos.



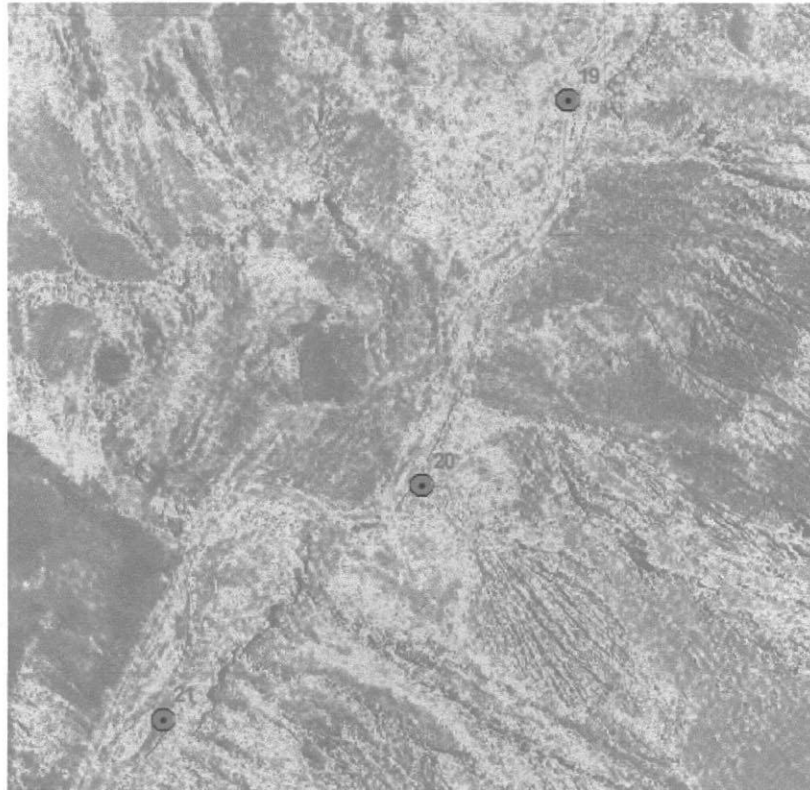
NDVI Quick Bird 28 Septiembre 2011





Como se puede apreciar en la imagen anterior, la vegetación se localiza principalmente fuera del lecho de la quebrada.

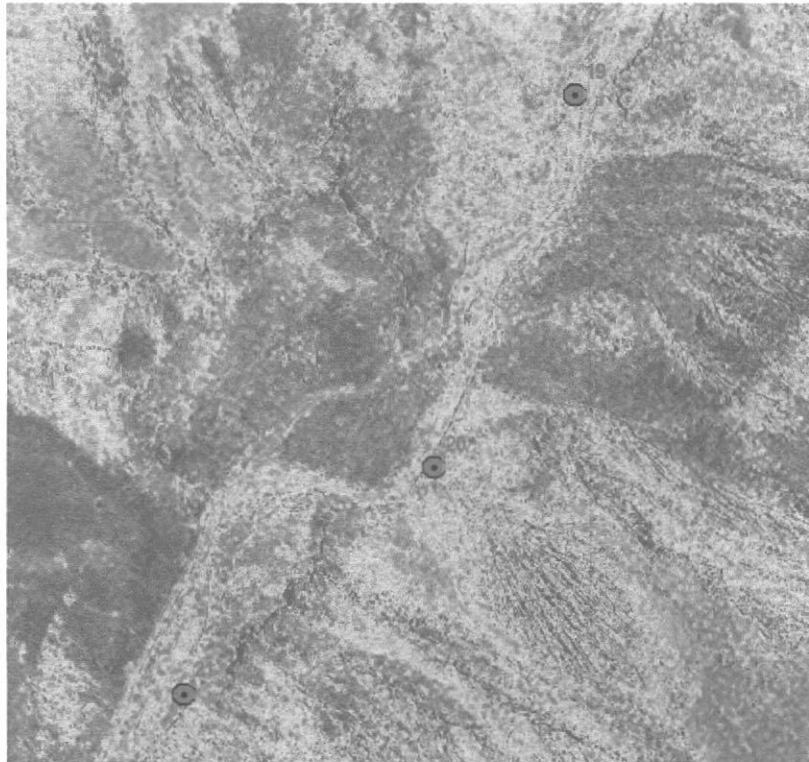
Las figuras siguientes muestran los índices NDWI y NDSI, también en pseudo color.



**NDWI Quick Bird 28 Septiembre 2011**

High : 255  
Low : 0

En la figura anterior se marca muy bien las sombras producidas por acantilados y diferencias en los niveles de terraza que bordean la caja del río. En general y visto en forma aislada, este índice tiende a confundir pues no tiene una relación directa con cuerpos de agua y más bien separa tipos de suelos.



**NDSI Quick Bird 28 Septiembre 2011**



También este índice, de manera aislada, no aporta o destaca información relevante, que no se haya destacado en la imagen original con el adecuado contraste.

Con el fin de integrar la información y facilitar la interpretación de los resultados, los tres índices generados, para la imagen de 28 de septiembre de 2011, se combinaron en colores utilizando los filtros Rojo, Verde, Azul (RGB) asignados al NDVI, NDWI y NDSI respectivamente.

La imagen color resultante se muestran en la siguiente figura:



Quick Bird 2011-09-28: NDVI en Rojo, NDWI en Verde y NDSI en Azul

A diferencia del Pseudo Color, que son colores asignados a los niveles de grises del producto, en este método los colores de la imagen se forman automáticamente, de acuerdo al valor del (de los) índice (s) que presenta (n) el (los) valor (es) más alto (s). Se puede usar la siguiente tabla de referencia, sin pretender ser exhaustivo pues se forman teóricamente 16.000.000 de colores:

NDVI (Rojo)	NDWI (Verde)	NDSI (AZUL)	Color Resultante	Explicación
<b>Alto</b>	Bajo	Bajo	Rojo	Vegetación Muy Activa
Bajo	<b>Alto</b>	Bajo	Verde	Suelo con baja reflectancia en el IRC (volcánico)
Bajo	Bajo	<b>Alto</b>	Azul	Suelo granítico o más rojizo
<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	Bajo	Amarillo	Suelo oscuro y sombras
<b>Alto</b>	Bajo	<b>Alto</b>	Magenta	Vegetación dispersa sobre suelo rojizo
Bajo	Bajo	Bajo	Gris Oscuro	Cuerpo de Agua Profundo y/o Hidrocarburo
<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	Bajo	Naranja	Vegetación Dispersa sobre suelo volcánico
<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	Blanco	No se presenta el caso
Bajo	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	Cyan	No se presenta el caso

La imagen del 28 de Septiembre del 2011 muestra que la quebrada, entre el sector 19 a 21, no lleva agua y tampoco se aprecia algún sector en negro o gris oscuro, que sería la indicación de presencia de hidrocarburo.

Para corroborar esto, se generó otro producto especial que permita ver con claridad la información en las imágenes. Este producto consiste en generar las componentes principales de las bandas, hacer un aumento de contraste sobre estos componentes y finalmente volver a las bandas originales con una transformación inversa.

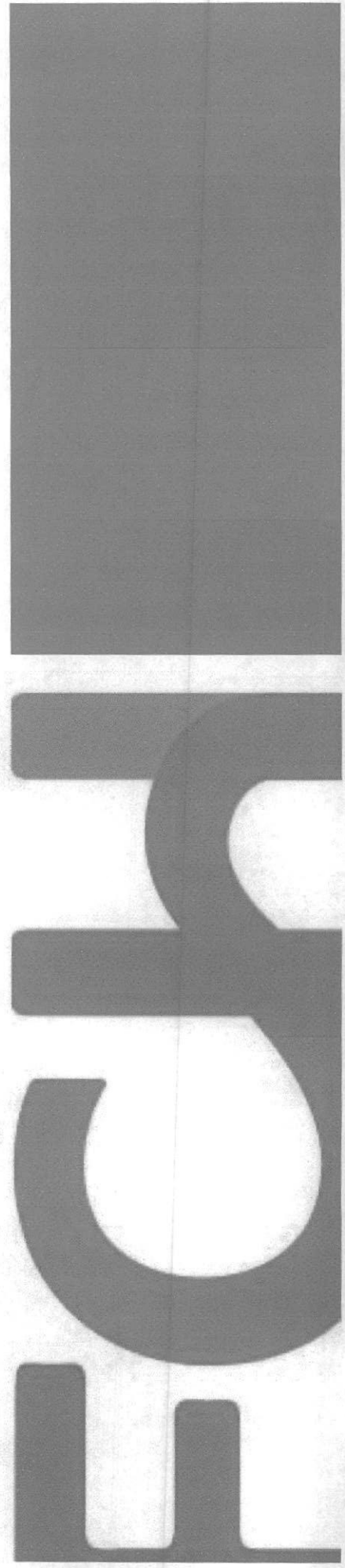
El producto generado se muestra en las siguientes figuras:



**Quick Bird 2011-09-28: Falso Color Convencional, con Decorrelation Stretch**  
(Banda IRC en filtro Rojo, Banda Roja en filtro Verde y Banda Verde en filtro Azul)

Se confirma lo dicho anteriormente, se ve claramente una quebrada seca en color celeste claro, con muy poca vegetación en su interior.





( )

( )

( )

( )

( )

( )

### INFORME COMPLEMENTARIO CUMPLIMIENTO ACCIÓN 3.1.3.

En el Informe de Cumplimiento de la Acción 3.1.3. que se presentó a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), con fecha 30 de Agosto de 2013, se proporcionaron los antecedentes relativos a la ejecución de la acción 3.1.3. **“Muestreo de los parámetros establecidos en la Tabla 1 del DS90”**, complementado con el análisis de los parámetros establecidos en la Tabla 1 del DS 90/2000 se realizaría el análisis de HC Totales, HC Volátiles y Vanadio.

Al respecto, los resultados de los parámetros de Vanadio e Hidrocarburos Totales y Volátiles permiten confirmar que la limpieza ha sido efectiva y que la PTAS no ha vuelto a descargar Hidrocarburos por cuanto todos los valores están bajo norma.

Con relación al funcionamiento de la PTAS, los resultados evidencian una mejora progresiva en el desempeño de esta instalación. Las acciones de muestreo junto con rápidas medidas correctivas han permitido mantener e incrementar el desempeño de la PTAS. Al respecto, destacamos haber delegado la gestión operacional de la PTAS a una empresa experta, haber invertido USD \$100.000 en mejoras a la PTAS, la inoculación con Lodos y la supervisión constante por personal de Disal. Todas estas actividades han permitido tener un manejo, operación y seguimiento de las variables de funcionamiento de la PTAS y su efluente.

#### ▪ RESULTADOS DE MUESTREO 14 DE AGOSTO DE 2013

A continuación se presentan los resultados del muestreo de los parámetros establecidos en la Tabla 1 del DS 90:

Elemento	Unidad	14-08-2013	Tabla 1 DS 90
Aceites y grasas	mg/l	10	20
Hidrocarburos Fijos	mg/l	<10	n/a
Hidrocarburos Totales	mg/l	<10	10
Hidrocarburos Volátiles	mg/l	<0.05	n/a
Aluminio	mg/l	1,5	5
Arsénico	mg/l	<0.05	0,5
Boro	mg/l	0,9*	0,75 / 0,9*
Cadmio	mg/l	<0.05	0,01
Cianuro	mg/l	<0.1	0,20
Cobre	mg/l	0,8	1
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.05	0,05
Fosforo Total	mg/l	3,5	10
Fluoruro	mg/l	0,7	1,5

Hierro Disuelto	mg/l	0,55	5
Manganeso	mg/l	0,13	0,3
Mercurio	mg/l	<0.001	0,001
Molibdeno	mg/l	<0.01	1
Vanadio	mg/l	<0.05	n/a
Níquel	mg/l	<0.05	0,2
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	18	50
Pentaclorofenol	mg/l	<0.005	0,009
Plomo	mg/l	<0.05	0,05
Selenio	mg/l	<0.01	0,01
Tetracloroeteno	mg/l	<0.01	0,04
Tolueno	mg/l	<0.001	0,7
Triclorometano	mg/l	0,011	0,2
Xileno	mg/l	<0.003	0,5
Zinc	mg/l	0,08	3
Índice de Fenol	mg/l	<0.01	0,5
Sulfuro	mg/l	<0.5	1
Sulfato	mg/l	276	1000
Cloruro	mg/l	129	400
PH a 20 °C		7,1	6,0 -8,5
Temperatura °C	°C	16,2	35
Solidos totales suspendidos	mg/l	11	80
DBO5	mg/l	<10	35
Poder Espumogeno	mm	<2	7
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2	1000
<i>*Igual a contenido natural</i>			

Tabla 1. Resultados muestra 14-08-2013

En Anexo de este Informe se acompaña el informe de resultado del laboratorio Cesmec y copia de la acreditación del mencionado laboratorio.

#### CONTENIDO NATURAL DE BORO

Para el caso de Boro, la excedencia se debe a que las aguas que ingresan a faena para los distintos procesos tienen una condición basal alta. Lo anterior es bastante común en Salares del Norte de Chile. El contenido natural de boro en las aguas subterráneas que se utilizan en la faena se observa en resultado de muestreo realizados por CESMEC, que realizó la medición de este parámetro en el punto de extracción de agua subterránea, el Pozo 7 del Salar de Michincha. Dicho resultado indica que el contenido natural de Boro es de 0,9 mg/l. Como se observa del resultado del muestreo de fecha 14 de Agosto, el valor para el parámetro Boro es igual al valor del contenido natural de captación.



Lugar (Unidad)	<b>Fecha de Muestra</b>
	07-08-2013
Pozo-7 (mg/l)	0.9

Tabla 2. Valor Contenido Natural de Boro registrado en P7, pozo de extracción de agua fresca Michincha.

**Anexo**

Informe de Muestreo y Ensayos IAG-17336 emitido por el Laboratorio CESMEC y copia de certificación del mencionado laboratorio.

INFORME DE MUESTREO Y ENSAYOS  
IAG-17336



Solicitante : Compañía Minera Quebrada Blanca S.A.  
At. Srta. : Maria Elisa González  
Dirección : Vivar # 493 2do. Piso-Iquique

Orden de Trabajo : 402952  
Fecha de Emisión : 30.08.2013

División Química y Alimentos – Sede Iquique

**ANTECEDENTES**

El Centro de Estudios, Medición y Certificación de Calidad, CESMEC S.A., a solicitud de los Sres. Compañía Minera Quebrada Blanca S.A., ha efectuado Muestreo y Ensayos Químicos y Microbiológicos a (01) muestra de Agua, según se detalla a continuación:

Lugar de Muestreo : Desc. PTAS  
Fecha de Muestreo : 14.08.2013  
Muestreo : Puntual, Cesmec Iquique  
Envases y preservantes proporcionados por Cesmec S.A.  
N° Acta de Muestreo : 16249  
Hora inicio de muestreo : 10:30 hrs.  
Hora de termino de Muestreo : 11:00 hrs.  
Identificación de las Muestras : DS 90 P-O  
Fecha Inicio de análisis : 14.08.2013  
Fecha Término de análisis : 30.08.2013  
Plan y Procedimiento de Muestreo : PCE 131/300-20, basado en la NCh 411/10. Of2005

# INFORME DE MUESTREO Y ENSAYOS

IAG-17336

Fecha de Emisión 30.08.2013



## RESULTADOS

Análisis	P-O	Metodología	Fecha inicio análisis
Aceite y/o Grasas, mg/l	10	NCh 2313/6. Of1997	22.08.2013
Hidrocarburos Fijos, mg/l	<10	NCh 2313/7. Of1997	22.08.2013
Hidrocarburos Totales, mg/l	<10	Calculo	---
Hidrocarburos Volátiles, mg/l	<0,05	NCh 2313/7. Of1997	15.08.2013
Aluminio, mg/l	1,5	NCh 2313/25. Of1997	16.08.2013
Arsénico, mg/l	<0,05	NCh 2313/9. Of1996	19.08.2013
Boro, mg/l	0,9	NCh 2313/25. Of1997	20.08.2013
Cadmio, mg/l	<0,05	NCh 2313/10. Of1996	16.08.2013
Cianuro, mg/l	<0,1	NCh 2313/14. Of1997	25.08.2013
Cobre, mg/l	0,8	NCh 2313/10. Of1996	16.08.2013
Cromo Hexavalente, mg/l	<0,05	NCh 2313/11. Of1996	15.08.2013
Indice de Fenol, mg/l	<0,01	NCh 2313/19. Of2001	22.08.2013
Fósforo Total, mg/l	3,5	NCh 2313/15. Of1997	16.08.2013
Fluoruro, mg/l	0,7	NCh 2313/33. Of1999	19.08.2013
Hierro Disuelto, mg/l	0,55	NCh 2313/10. Of1996	16.08.2013
Manganeso, mg/l	0,13	NCh 2313/10. Of1996	16.08.2013
Mercurio, mg/l	<0,001	NCh 2313/12. Of1996	21.08.2013
Molibdeno, mg/l	<0,01	NCh 2313/13. Of1998	16.08.2013

Nota importante al reverso

Pág. 2 de 3

# INFORME DE MUESTREO Y ENSAYOS


IAG-17336

Fecha de Emisión 30.08.2013



Análisis	P-O	Metodología	Fecha inicio análisis
Níquel, mg/l	<0,05	NCh 2313/10. Of1996	16.08.2013
Nitrógeno Kjeldahl, mg/l	18	NCh 2313/28. Of1998	21.08.2013
Pentaclorofenol, mg/l	<0,005	NCh 2313/29. Of1999	15.08.2013
Plomo, mg/l	<0,05	NCh 2313/10. Of1996	16.08.2013
Selenio, mg/l	<0,01	NCh 2313/30. Of1999	19.08.2013
Tetracloroetano, mg/l	<0,01	NCh 2313/20. Of1998	15.08.2013
Tolueno, mg/l	<0,001	NCh 2313/31. Of1999	16.08.2013
Triclorometano, mg/l	0,011	NCh 2313/20. Of1998	15.08.2013
Xileno, mg/l	<0,003	NCh 2313/31. Of1999	16.08.2013
Zinc, mg/l	0.08	NCh 2313/10. Of1996	16.08.2013
Vanadio, mg/l	<0,05	St. Meth. 3111-D (*)	16.08.2013
Sulfuro, mg/l	<0.5	NCh 2313/17. Of1997	23.08.2013
Sulfato disuelto, mg/l	276	St. Meth. 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> D (*)	26.08.2013
Cloruro, mg/l	129	NCh 2313/32. Of1999	22.08.2013
pH, a 20°C (**)	7,1	NCh 2313/1. Of1995	14.08.2013
T° C (**)	16,2	NCh 2313/2. Of1995	14.08.2013
Sólidos totales suspendidos, mg/l	11	NCh 2313/03. Of1995	14.08.2013
DBO <sub>5</sub> , mg/l	<10	NCh 2313/5. Of2005	14.08.2013 18:00hrs.
Poder Espumogeno, mm	<2	NCh 2313/21. Of1997	14.08.2013
Coliformes fecales, NMP/100 ml	<2	NCh 2313/22. Of1995	14.08.2013

NOTAS: (\*) Standard Methods For The Examination The Water And Wastewater, edición on line.  
(\*\*) Ensayo realizado en terreno.

  
**MACARENA GONZALEZ SOTO**  
Supervisor  
División Química y Alimentos

Ref. Informe SAG- 60848, Cesmec S.A. Sede Santiago.

Pág. 3 de 3



00

05

0

7

00

00

---

**Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A.**

13 de Septiembre de 2013

**Informe Final: Recarga Hídrica a la Quebrada Blanca con caudal comprometido en la RCA N° 59/1998**

## 1. INTRODUCCIÓN

Conforme a lo dispuesto en el Resultado Espera 3.1. "Reponer la recarga hídrica de al menos 5 l/s, asegurando su calidad para potenciar la vegetación azonal en la comunidad 23" del Plan de Acciones y Metas del Programa de Cumplimiento, aprobado por esta Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) a través del Ord. U.P.I.S N° 74 de fecha 02 de abril de 2013, CMTQB S.A. comprometió la Acción 3.1.4 consistente en "Reponer el caudal comprometido en la RCA N° 59/1998"

La Acción mencionada contemplaba un plazo de ejecución al 15 de junio de 2013, con una meta del 90% de los promedios diarios de las mediciones registradas por el caudalímetro con un mínimo de 5 l/s, estipulándose reportes periódicos quincenales y un reporte final al 30 de agosto de 2013.

Adicionalmente, la referida Acción considera en sus supuestos el cumplimiento previo de las acciones 3.1.1 y 3.1.2 del Plan de Acciones y Metas y que no existan fenómenos naturales u otras causas justificables que impidan efectuar la actividad.

En ese contexto, con fecha 28 de junio de 2013 se presentó un escrito en que se solicitó a esta SMA se tuvieran presentes las condiciones climáticas extremas ocurridas durante del mes de Junio de 2013, las cuales imposibilitaron el cumplimiento íntegro de la Acción 3.1.3. Se argumentó que tal situación generó problemas operacionales del sistema de líneas y bomba y en las condiciones para efectuar las reparaciones necesarias para efectuar la descarga a la quebrada. En virtud de lo anterior, se solicitó a la SMA que otorgara un nuevo plazo para retomar el cumplimiento de la referida Acción.

En consecuencia, la SMA procedió a dictar el Ord. U.I.P.S N° 450 de fecha 23 de Julio de 2013 estimando pertinente otorgar un nuevo plazo para el cumplimiento de la Acción 3.1.4 hasta el 30 de Agosto de 2013.

El presente informe constituye el Reporte final de la Acción 3.1.4, mediante el cual se da cuenta del cumplimiento satisfactorio de la misma, por medio de la recarga hídrica a la Quebrada Blanca por medio de un caudal diario promedio superior a 5 l/s.

## 2. DESCRIPCION DE TRABAJOS

La Acción 3.1.4 estipuló la obligación de acompañar a la SMA informes quincenales a partir del 15 de Junio de 2013, con el fin de dar cuenta de los avances de los trabajos ejecutados. A continuación se presentan las fechas en que éstos fueron acompañados:

N° Informe	Fecha de presentación a la SMA
1er informe	01 de Julio de 2013
2do informe	15 de Julio de 2013
3er informe	30 de Julio de 2013
4to informe	16 de Agosto de 2013
5to informe	30 de agosto de 2013

En la presente sección se presentan resumidamente las gestiones realizadas desde el 15 de Junio de 2013, hasta la fecha del presente informe, con el fin de asegurar la reposición del caudal comprometido. Dichas labores se encuentran detalladas en los referidos informes quincenales presentados a la SMA.

Adicionalmente, en concordancia con lo señalado en el Ord. U.I.P.S N° 450 de la SMA, en la ejecución de las obras necesarias para proceder al riego de la Quebrada Blanca, la Compañía procuró aplicar los mejores estándares ingenieriles posibles.

En ese contexto, se han realizado esfuerzos por aplicar altos estándares en las medidas ingenieriles aplicadas con el fin de asegurar que las instalaciones de las bombas eléctricas, sus manifolds y otras, permitieran contar con un sistema óptimo y con respaldo operativo. En efecto, como es posible apreciar en el punto 3 del presente Reporte Final, se ha logrado contar con un flujo diario promedio superior a 5 l/s de manera estable, lo que demuestra la efectividad del sistema instalado.

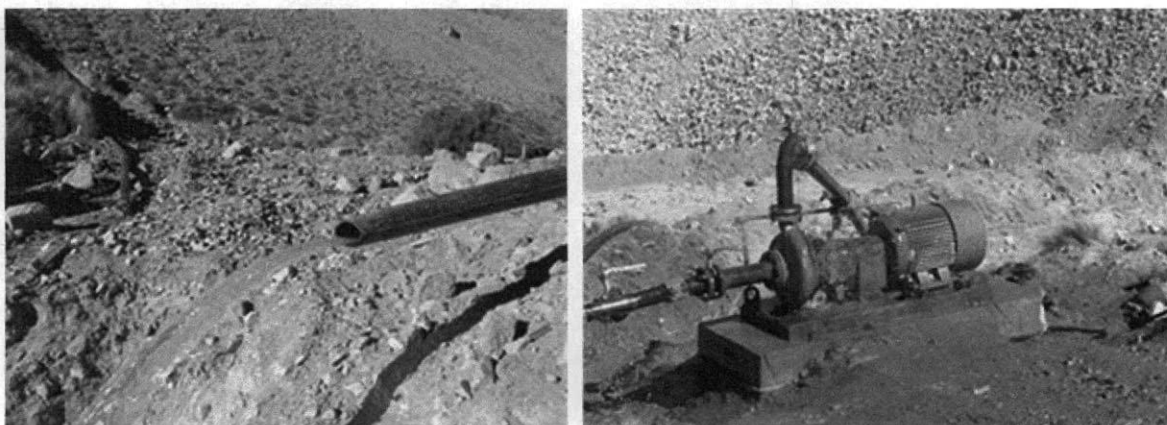
En el **Anexo N° 1** del presente informe, es posible observar el detalle de las instalaciones utilizadas y los estándares ingenieriles dispuestos para ello.

### 2.1. Semana 1: 15 y 16 de junio.

El sábado 15 de junio, entre las 07 y 14 hrs, se realizó la puesta en marcha de la línea, operando hasta el domingo 16 de Junio, cuando se detectó una fuga en los sellos mecánicos de la bomba.

Se drenó la línea y se realizó su chequeo total, encontrándose una T de válvula de drenaje dañada y congelada en sector de Quebrada Blanca. El domingo 16 de junio se procedió a desconectar las líneas de bomba para su desmontaje.





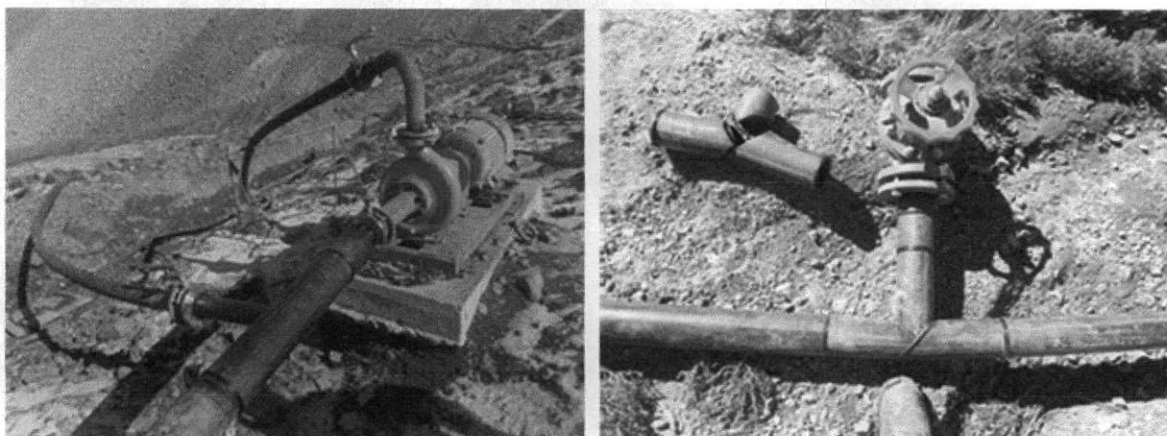
**Imagen N°1:** Descarga a Quebrada Blanca y Fuga en sello de bomba de impulsión.

## **2.2. Semana 2: 17 al 23 de junio.**

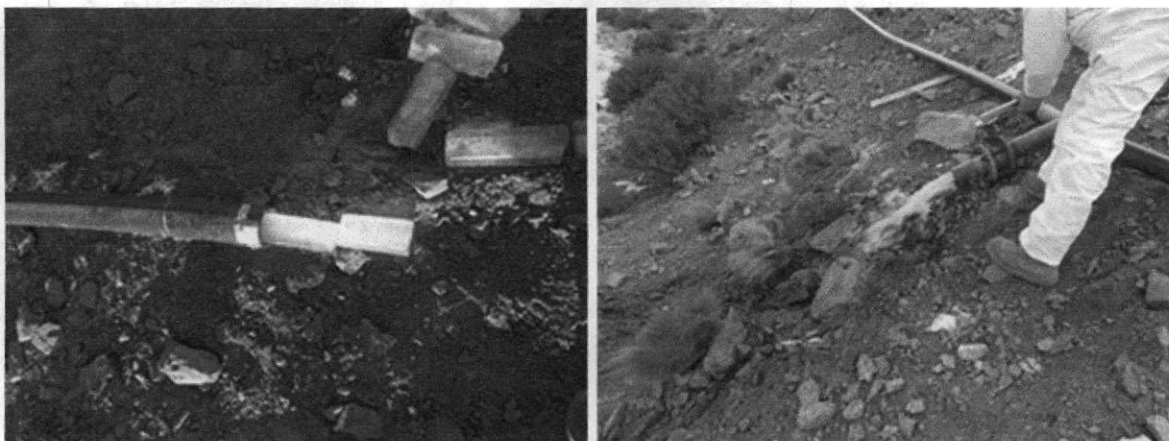
Se desmontó la bomba y se realizó su desarme, se evaluó la situación y se decidió preparar una nueva bomba para ser instalada. Además, se realizó la reparación de la T dañada.

Se instaló una nueva bomba de impulsión y debido a las bajas temperaturas de esta semana se decidió poner en marcha el miércoles 19 de junio. Ese mismo día se realizó un nuevo chequeo a la línea detectándose 650 mts. de tubería congelada y se procedió a iniciar su descongelamiento.

Los siguientes días se continuó con las labores de descongelamiento de la línea y en este contexto, en varios tramos se cambiaron metros de tubería congelada. Las bajas temperaturas dificultaron la continuidad de trabajos a la intemperie.



**Imagen N°2:** Nueva bomba instalada y T reparada.



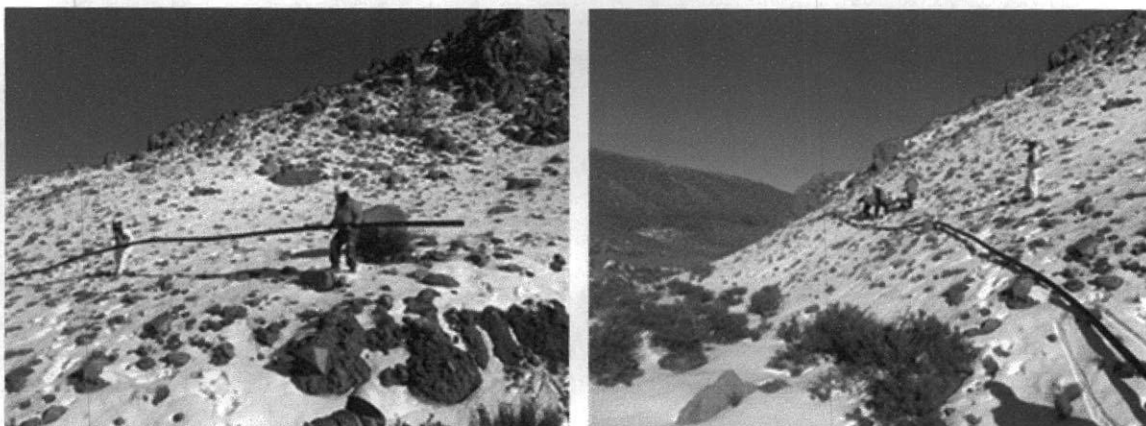
**Imagen N°3:** Línea congelada y verificación de flujo en válvulas.

**2.3. Semana 3: 24 al 30 de junio.**

Continúan trabajos de descongelamiento de la línea y se realizaron mejoras en la succión de bomba, la cual quedó montada y alineada.

Se decidió iniciar el diseño de un nuevo trazado, levantamiento topográfico y tapado de la línea en algunos sectores. Se inició la reubicación de los tramos de línea descongelados y la construcción de un Camellón o pretil con maquinaria pesa sobre la línea de HDPE.

Se comenzó con las labores necesarias para instalar una segunda bomba en el sistema y así dejar asegurado con un equipo standby. Asimismo, se continuó con el cubrimiento de la línea y se iniciaron las primeras pruebas de bombeo, constatándose aún resultados de congelamiento en algunos puntos.



**Imagen N°4:** descongelamiento y revisión de líneas.

**2.4. Semana 4: 01 al 07 de julio.**

Se realizó la puesta en servicio de la bomba, pero se detectó un tapón de hielo en sector de la Quebrada Llaretá. Se procedió con la reposición de la tubería congelada en algunos tramos.

Se logró la puesta en marcha de la bomba y se realizaron labores de movimiento de tierra para cubrir la tubería, con el fin de evitar futuros congelamientos de la cañería.



**Imagen N°5:** Trabajos de movimiento de tierra cubriendo tubería.

**2.5. Semana 5: 07 al 14 de julio.**

Se realizó chequeo de la línea y de la bomba, para verificar funcionamiento y posibles fugas.

Se gestionó la compra de 6100 mts de tubería HDPE 90 mm PN 10 PE 100 para el remplazo definitivo de la tubería existente. Además, se realizó la compra de un flujómetro para instalar a la salida de la bomba de impulsión.

De acuerdo a la ingeniería del proyecto, se definieron las características de las bombas definitivas de impulsión, y se dio inicio al proceso de cotizaciones.

Se comenzó la evaluación de las modificaciones en la tubería de salida de la PTAS, para minimizar restricciones en succión de la bomba de impulsión.

**2.6. Semana 6: 15 al 21 de julio.**

Se continuó con las inspecciones y chequeos visuales a las líneas y bomba de impulsión, con el fin de verificar su funcionamiento y posibles fugas.

Se inició el proceso de licitación para trabajos de modificación en la tubería de salida de la PTAS, para minimizar las restricciones en la succión de la bomba de impulsión; se reciben las ofertas por parte de empresas externas.

Se realizó la compra de dos bombas de impulsión a empresa Wellford. Los últimos días de esta semana se suspenden los trabajos de instalación de bomba autónoma por malas condiciones climáticas, bajas temperaturas y agua nieve.

## **2.7. Semana 7: 22 al 28 de julio.**

Se trabajó en el montaje de bomba autónoma de impulsión.

Se adjudicó servicio para trabajos en la salida de la PTAS. Se retiró la línea existente de 100 mm de salida desde la PTAS y se reemplaza por una línea nueva de 160 mm, con el fin de mejorar el flujo de entrada a la bomba de impulsión. Asimismo se realizó el montaje de las cañerías de 8 pulgadas, que corresponde a una camisa protectora de la nueva tubería, con el fin de resguardarla en el sector de cruce con el camino.

Continuaron los trabajos en nueva la línea de alimentación a la bomba de impulsión y se inician las excavaciones para la instalación de las bombas electricas de impulsión.



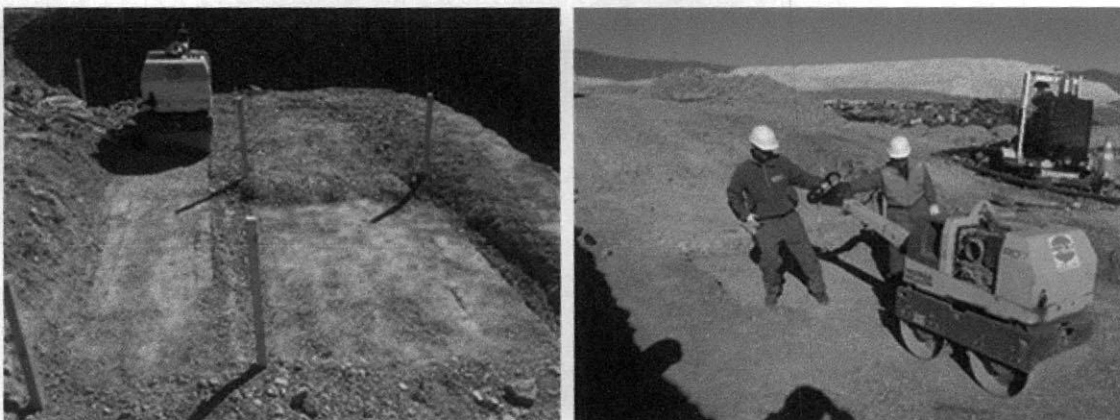
**Imagen N°6:** Bomba autónoma de impulsión y tubería nueva.

## **2.8. Semana 8: 29 julio al 04 de agosto.**

Se realizó el tapado y relleno de excavaciones en cruce de camino de la tubería de salida de la PTAS y se fabricó un cajón metálico para válvula de 6" en la salida de la PTAS.

Continuaron las excavaciones, nivelación y compactación de terreno para construcción de losa de montaje de bombas de impulsión.





**Imagen N°7:** Trabajos de nivelación y compactación plataforma de montaje bombas.

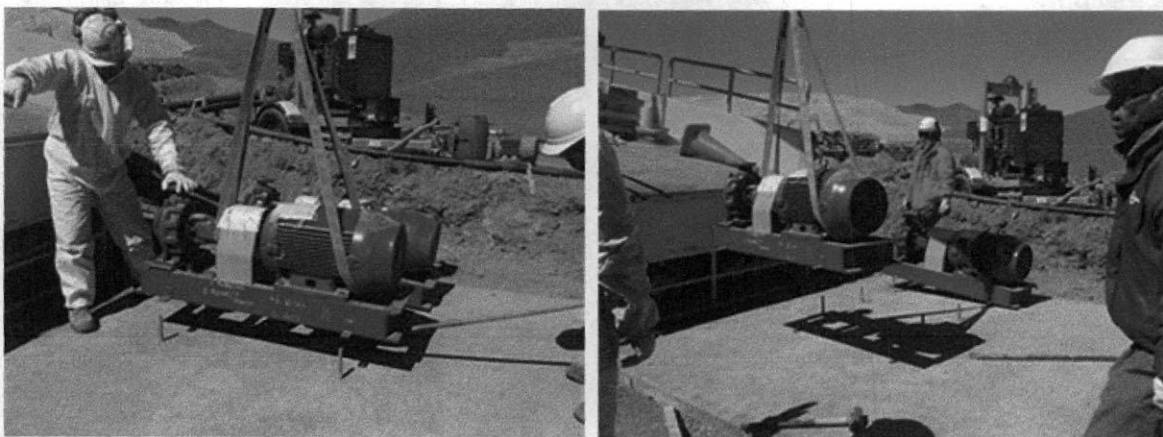
**2.9. Semana 9: 05 al 11 de agosto.**

Continúan los trabajos de nivelación, compactación y preparación de terreno para la construcción de la losa de montaje de las bombas de impulsión. Adicionalmente se realizaron mejoras en los accesos y movimientos de tierra en el contorno de la losa.

**2.10. Semana 10: 12 al 18 de agosto.**

Continúa la fabricación de manifold, se prepararon soportes y se mantiene frague de losa de montaje.

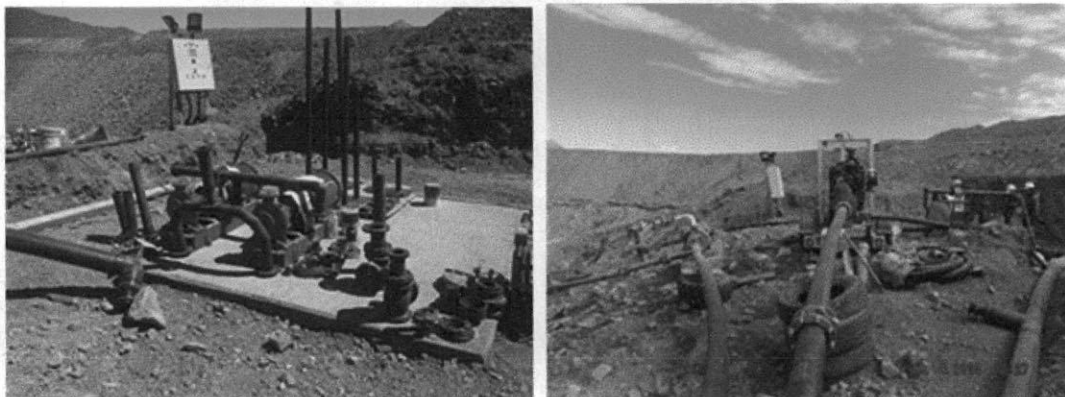
Se montaron las dos bombas eléctricas, se ajustaron y nivelaron pernos de anclaje. Se trabajó en la fabricación de manifold y soportes.



**Imagen N°8:** Montaje de bombas de impulsión eléctricas.

## 2.11. Semana 11: 19 al 25 de agosto.

Continúan los trabajos de instalación de bombas de impulsión y soportes. Los últimos días de la semana se suspenden trabajos a la interperie en toda la faena por condiciones climáticas adversas.

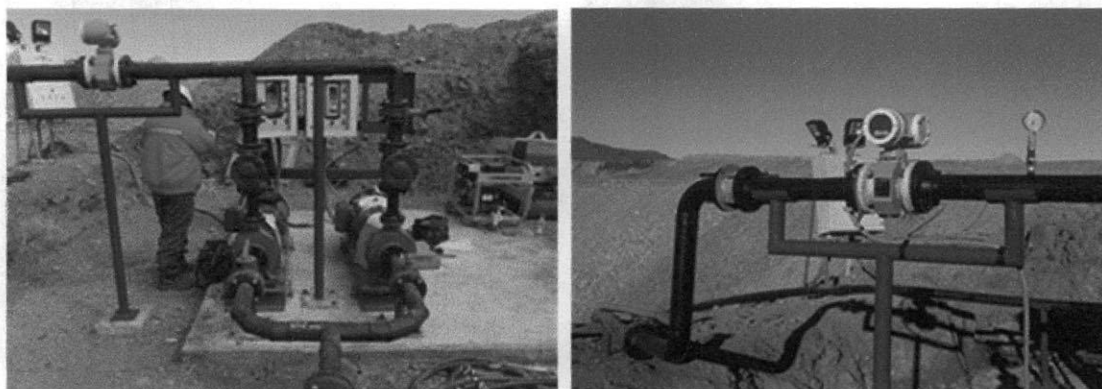


**Imagen N°9:** Materiales y manifold bombas de impulsión.

## 2.12. Semana 12: 26 al 30 de agosto.

Se trabaja en el montaje de tableros eléctricos, se instala flujómetro y cableado eléctrico de las bombas de impulsión a la línea de descarga a la Quebrada Blanca.

Se realizaron pruebas y el inicio de puesta en marcha del sistema.



**Imagen N°10:** Instalación eléctrica y Flujómetro en salida de bombas.

### **3. CONCLUSIONES- RECARGA HÍDRICA:**

Una vez que finalizaron los trabajos para contar con la reposición continua del caudal de recarga comprometido en la RCA N° 59/1998, se han podido mantener flujos de descarga estables que han permitido satisfactoriamente a ejecutar la Acción 3.1.4.

En efecto, se ha contado con un flujo diario promedio superior a 5 l/s por medio de las aguas tratadas proveniente de la PTAS, lo que puede visualizarse en la planilla que se acompaña en el **Anexo N° 2** de esta presentación.

De este modo, se dio íntegro cumplimiento a la **meta** planteada para la Acción 3.1.4 obteniendo, desde la reposición de la recarga a la fecha del presente informe un flujo de los promedios diarios de las mediciones registradas por el caudalímetro, con un mínimo de 5 l/s: Lo anterior, considerando el **indicador** propuesto: Número de registros de promedio diario de caudal registrado por caudalímetro en punto de descarga igual o mayor a 5 l/s / Número total de registros promedio diario.

Cabe precisar que previo al cumplimiento de la Acción 3.1.4 se dio íntegro cumplimiento a las acciones 3.1.1 y 3.1.2., consistentes en la limpieza de la PTAS y del sistema de conducción asociado y la instalación de nueva tubería de descarga PTAS en Quebrada Blanca, de características similares a la anterior, supuestos necesario cumplir antes de iniciar la recarga del caudal a la Quebrada Blanca por medio de aguas tratadas de la PTAS.

Finalmente, se debe señalar que en cumplimiento de lo dispuesto en Ordinario U.I.P.S. N° 450/2013, se mantuvo el riego de salvataje con camiones aljibes a la Quebrada Blanca y la instalación de bebederos para animales, lo anterior de manera voluntaria aún después del 30 de agosto, como una forma de respaldo en los primeros días de evaluación de funcionamiento del nuevo sistema de recarga.

**ANEXO N° 1:  
RESPALDOS DE TRABAJOS REALIZADOS**

En el marco de todos los trabajos realizados se contó con el desarrollo de varias aristas tendientes a aplicar los mejores estándares de ingeniería y selección de materiales.

**1. Estudio de problemática.**

Se realizó un análisis de la problemática del congelamiento de la tubería, realizándose levantamientos de rutas de tendido y topografías mediante simulaciones computacionales las cuales definen puntos críticos de venteos y válvulas, además de entregar un análisis hidráulico, además de un mapeo de presiones y comportamiento de la línea. Lo anterior puede observarse en el informe denominado "Informe Situación Tendido de cañería HDPE PTAS a Quebrada Blanca", elaborado por Palhe Ingeniería y montaje, cual se acompaña en esta presentación.

De todas estas variables surgieron las recomendaciones y programas de trabajo de mejoras.

**2. Selección de equipo de Bombeo.**

Se realizó un análisis de selección de equipo de bombeo, en el cual, mediante la iteración de puntos hidráulicos se seleccionó las características de la bomba a utilizar. El detalle de los trabajos y los estándares utilizado consta en informe denominado "Informe Selección de Bomba, Proyecto Ingeniería Suministro Aguas PTAS a Quebrada Blanca", elaborado por Palhe Ingeniería y Montaje, el cual se acompaña en esta presentación.

**TEMPERATURA**

Temperatura Promedio Anual:	5 °C
Día Invierno:	-5 a 5 °C
Noche Invierno:	-5 a -25 °C
Día Verano:	15 a 20 °C
Noche Verano:	0 °C

**HUMEDAD**

Promedio Anual:	28%
Máxima:	50%
Mínima:	3%

**PRESIÓN BAROMÉTRICA**

Promedio:	61,2 KPa
-----------	----------

**NEVADAS** 1 m de Nieve

**PRECIPITACIÓN** 150 mm/año

**SISMO** UBC 4

**ALTURA** 4.200-4.400 m.s.n.m

**RADIACIÓN** 1.200 W/m<sup>2</sup>

**Imagen 1 :** Condiciones de borde utilizadas para selección de bomba.



Con los resultados obtenidos se procedió a cotizar dos bombas, de las cuales la propuesta de Wellford fue la que cumplía parámetros técnicos y de plazos de entrega.

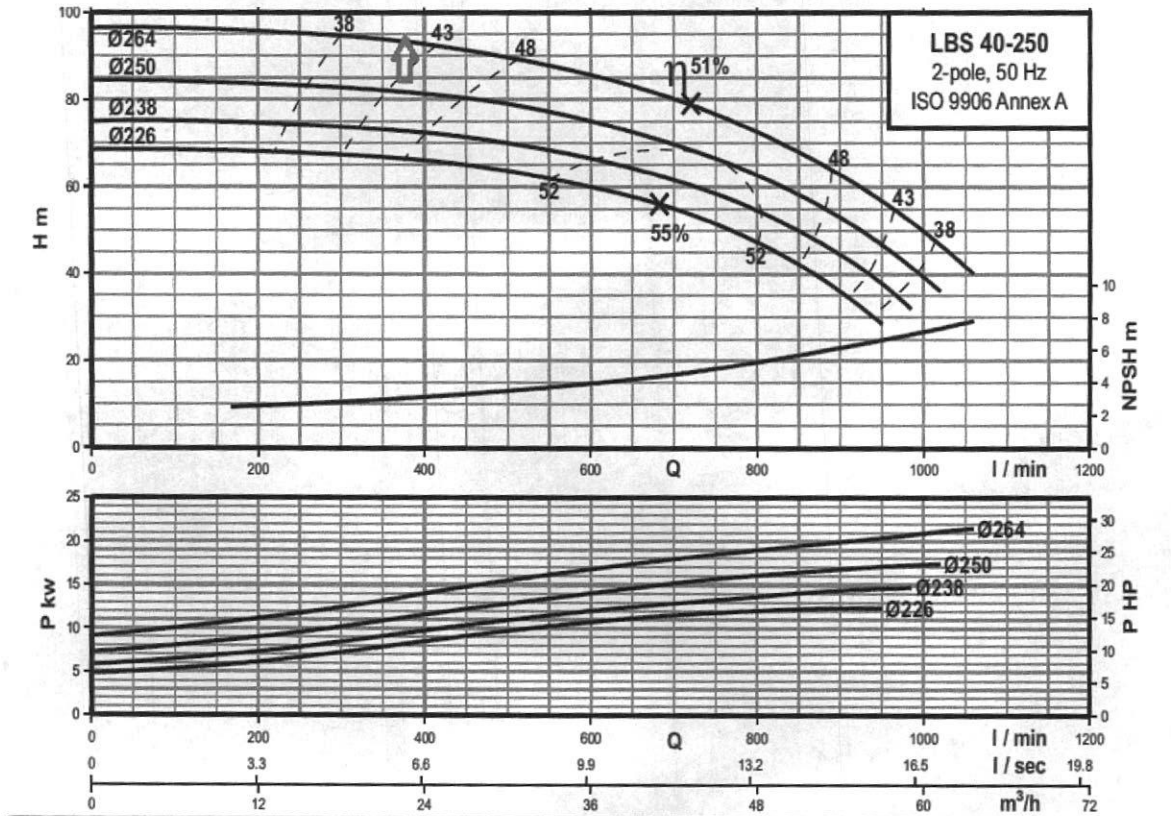


Imagen 2: Punto de operación de Bomba instalada según diámetro de impulso.

### 3. Generación de modificaciones de líneas y Planos de instalación bombas.

Se realizó la ingeniería para eliminar restricciones y singularidades en el sistema, generándose los planos unilineales y de disposición de equipos, tanto como de bombas.

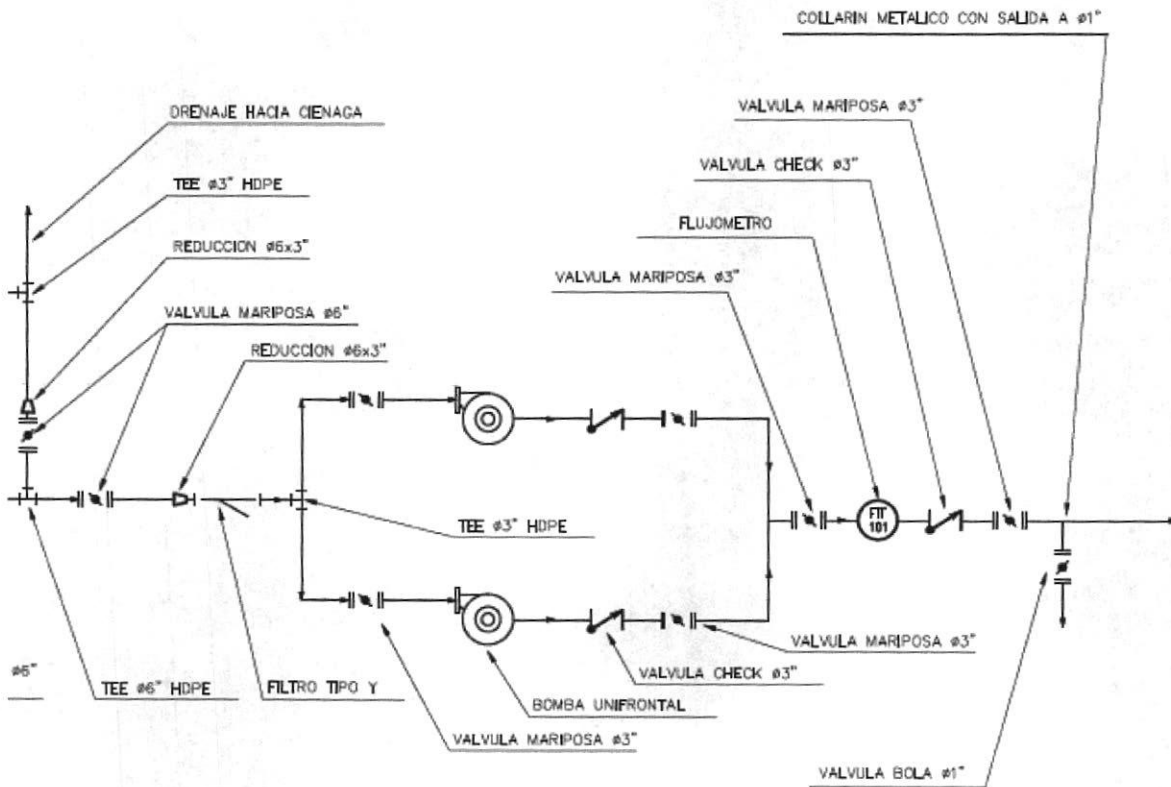
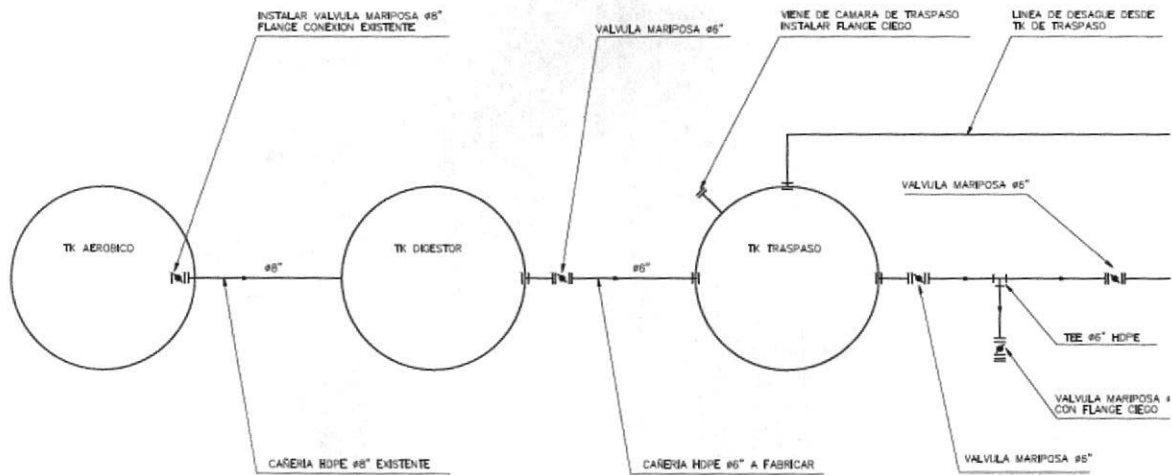


Imagen N°3: Diagrama unilineal de sistema.

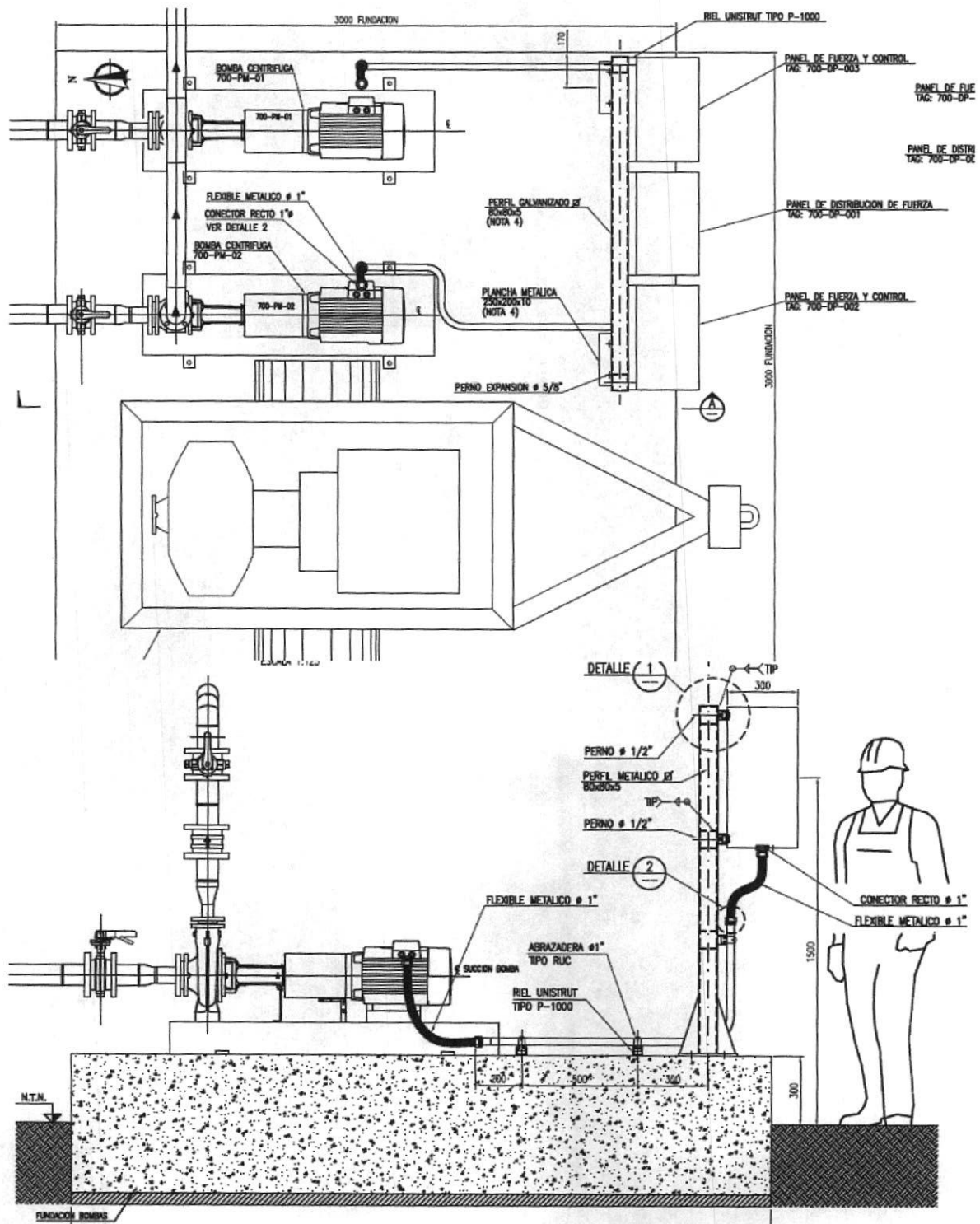


Imagen N°4: Diagrama de bombas y tableror

# Teck

## INFORME SITUACION TENDIDO DE CAÑERIA HDPE PTAS A QUEBRADA BLANCA.

### PROYECTO INGENIERIA SUMINISTRO AGUA PTAS A QUEBRADA BLANCA.

Informe preparado para: MINERA TECK

N° DOC: ING095-700-10-INF-001-B

B	29/06/2013	Revisión Interna PALHE	M.T.R	I.M.S	I.M.S		D.H.A
A	28/06/2013	Revisión Interna PALHE	M.T.R	I.M.S	I.M.S		
REV.	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REV.	APR.	REV.	APR.
			PALHE			TECK	
							



## MINERA TECK

# INFORME DE SITUACION TENDIDO DE CAÑERIA HDPE PTAS A QUEBRADA BLANCA.

## CONTENIDO

1	INTRODUCCION.....	3
2	ALCANCE .....	3
3	LÍMITES DE BATERÍA.....	3
4	DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL.....	4
5	ANALISIS HIDRÁULICO DEL TENDIDO REALIZADO .....	8
6	PROPUESTAS DE MEJORA.....	10
7	CONCLUSIONES Y STATUS ACTUAL .....	12

## **1 INTRODUCCION**

Minera Teck Quebrada Blanca abastece de agua a la Quebrada Blanca ubicada en las cercanías de la mina, específicamente aguas debajo de la cortina hidráulica del Dump, mediante una línea proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS).

Debido a un derrame de petróleo que llegó a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, el agua con la cual se abastece la quebrada se vió contaminada y debido a las exigencias de la autoridad ambiental Minera TECK procedió a implementar una solución de emergencia para mantener el suministro de agua.

Dentro de la solución de emergencia implementada se contempló el tendido de una línea de HDPE de 90 mm desde la PTAS hacia la quebrada, esta instalación se realizó entre los meses de marzo y abril de 2013 y se cumplió en un período de 23 días en vista del compromiso que tiene Minera TECK con la comunidad

Por las condiciones climáticas adversas que se han producido en el último tiempo en la zona donde se encuentra instalada la línea y en vista de que la instalación sólo posee los dispositivos mínimos necesarios para el suministro de agua y no fueron contemplados ciertos criterios técnicos que le dan mayor vida útil a la instalación la línea sufrió congelamiento del agua por lo cual se vió interrumpido el servicio.

## **2 ALCANCE**

El presente documento tiene como alcance el estudio de la problemática del congelamiento del agua transportada en la cañería de HDPE de 90 mm de diámetro desde la Planta de Tratamiento de Aguas (PTAS) hasta la Quebrada Blanca en un largo de cañería de 5700 m y dar los lineamientos de la solución para que no se produzca dicho congelamiento, adicionalmente dar recomendaciones finales a ser diseñadas en fase de ingeniería de detalle así dar cumplimiento a los acuerdos de abastecimiento de agua con la comunidad y dar cumplimiento también a las normativas de la autoridad ambiental.

## **3 LÍMITES DE BATERÍA.**

Los límites de batería considerados para la realización de este documento son:

El flujo de agua proveniente de la PTAS es bombeado mediante una bomba centrífuga de 6,5 l/s, 62 mca y es transportado por una cañería de HDPE de 90 mm de diámetro en 5700 m de longitud dispuesta sobre el terreno natural siguiendo la topografía de la zona. En el bombeo es necesario vencer una diferencia de altura de 40 m aproximadamente en un punto alto ubicado a una distancia de 502 m de la PTAS (nodos J-1 a J5), luego de este punto alto la cañería comienza a descender por la topografía de la zona bordeando la quebrada. La línea presenta una válvula de ventosa instalada en punto alto de sector cerro antenas radio transmisión.

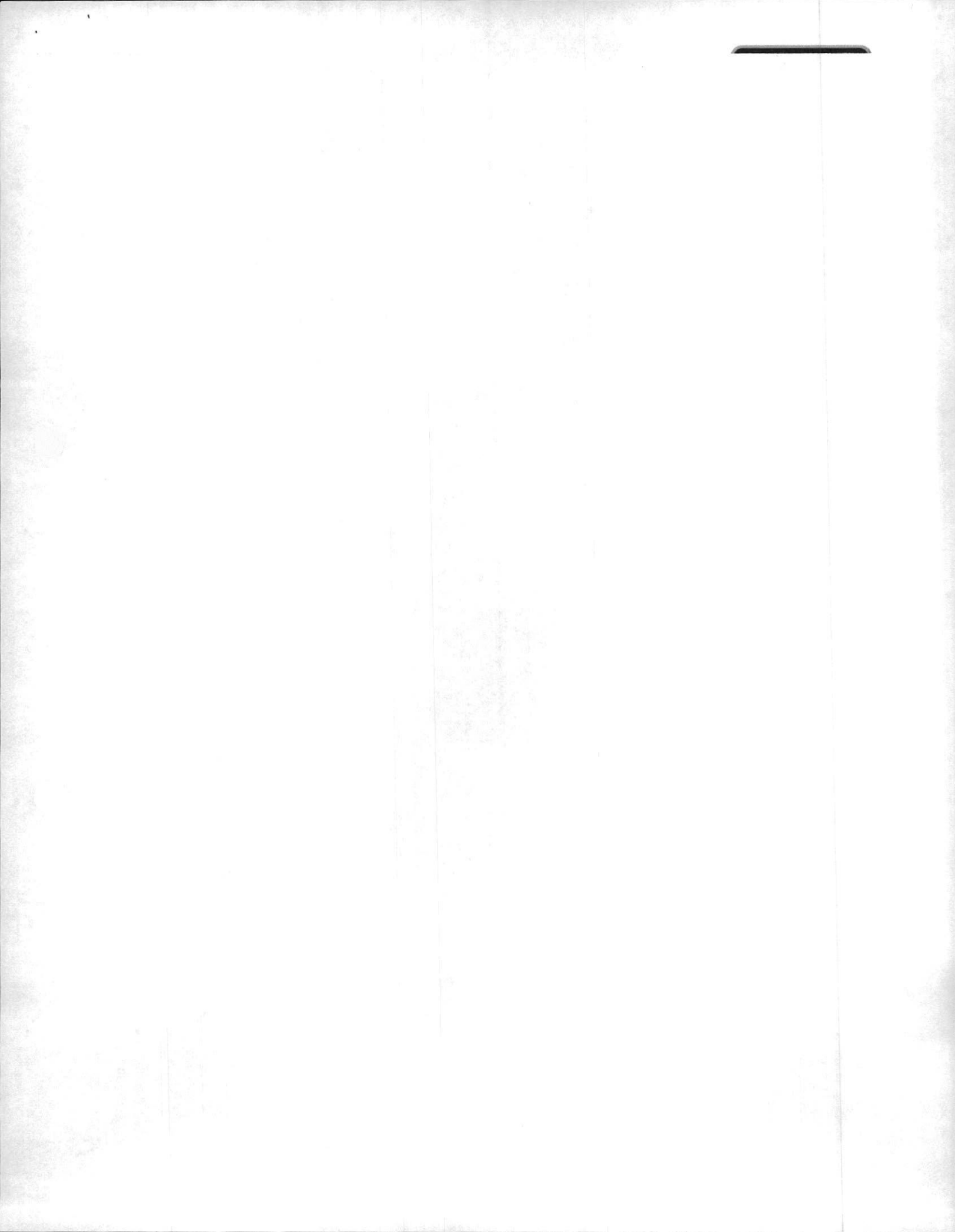
#### **Observaciones técnicas del tendido de HDPE:**

- Línea instalada sin aislamiento térmico, ausencia de camellones para aislarla del frío y mejorar su soportación
- No cuenta con dispositivos de regulación de presión (cajones de disipación, válvulas de reducción de presión)

Por las condiciones ambientales adversas en el último tiempo en la zona se produjo congelamiento del agua en la línea lo que repercutió en el abastecimiento de agua a la comunidad. Ante la contingencia de la detención del suministro de agua que se congeló se empezó a modificar el trazado cortando tramos y drenándolos (Ver Fig 4)



Fig 4. Drenado de cañería Ptas-QB





### 5 ANALISIS HIDRÁULICO DEL TENDIDO REALIZADO

En las figura 5 se representa la elevación de los puntos de ruta y la altura de cabeza total de los puntos incluyendo las pérdidas por fricción). Los puntos fueron tomados del informe "Informe Final y certificación tendido y soldadura de tubería de HDPE - Jesmin" elaborado en mayo 2013 para faena TECK-QB

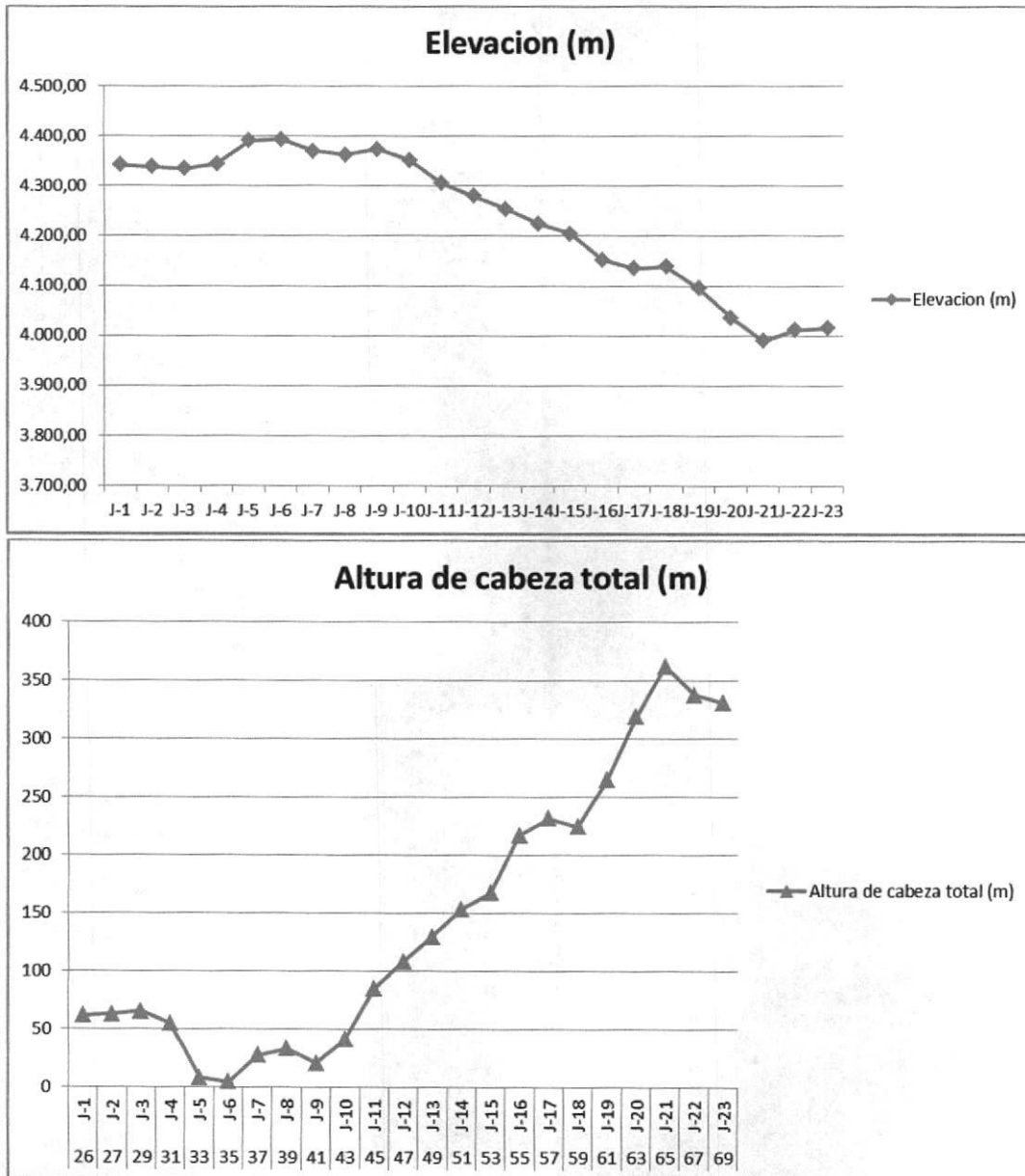


Fig. 5 Elevación y cabeza total de presión en el recorrido

El análisis se realiza mediante el programa computacional WATERCAD V8i la simulación de los puntos del trazado de la línea.

Se observa que el tendido favorece el incremento de presión de la línea al final del recorrido, llegando a sobrepasar los 300 mca (30 bar) el cual sobrepasa la presión nominal de la cañería (PN 10, 10 bar), concluyéndose que en la mitad del recorrido y los puntos cercanos a la descarga existe sobrepresión.

La presión máxima es de 360 mca.

La bomba fue dimensionada para vencer la altura estática en contra entre los nodos J1 a J7, luego de vencer esta diferencia de cota se aprovecha la bajada de la línea.

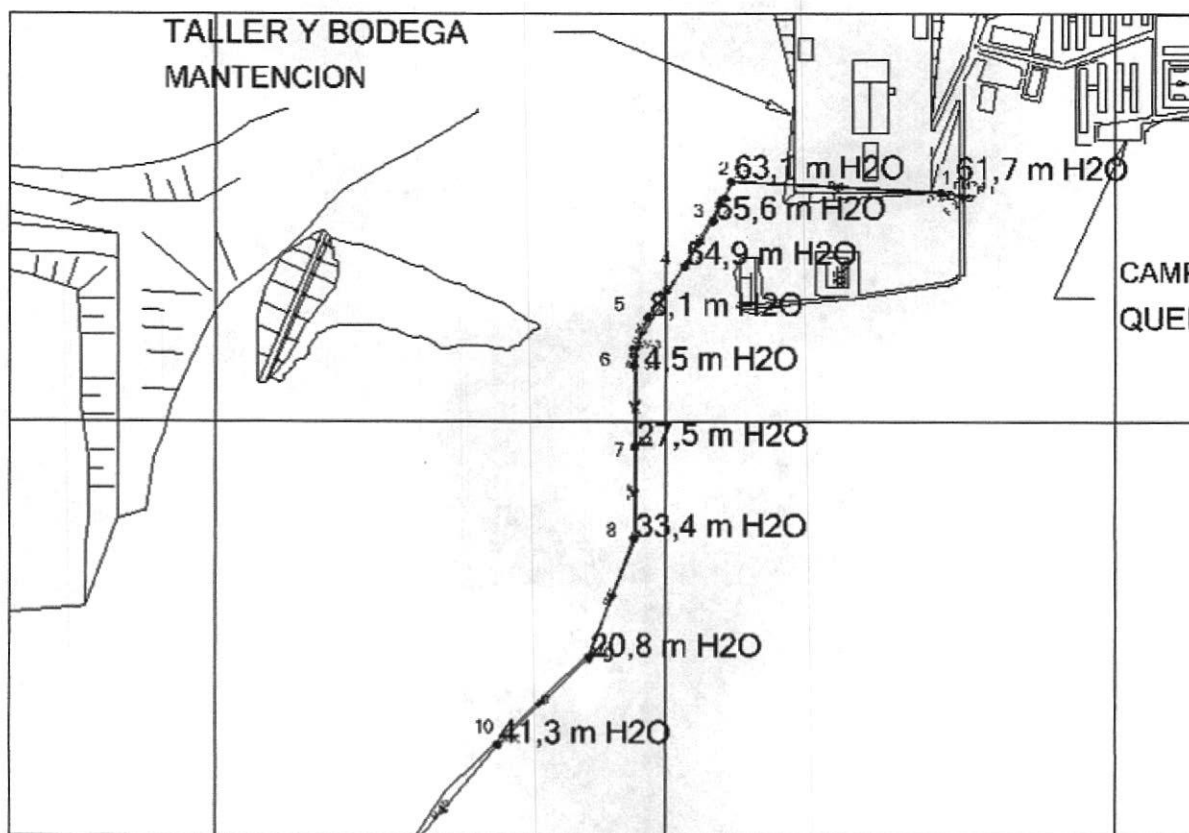


Fig. 6 Distribucion de presion entre nodos J-1 y J-10

Se detectaron pocos puntos de venteo lo cual no favorece el flujo neto por toda el área de la tubería, la acumulación de aire lleva consigo pérdidas locales de presión que hace que disminuya el flujo y por ende exista más riesgo de congelamiento en ciertas zonas.

## 6 PROPUESTAS DE MEJORA

- Realizar tendido nuevo de cañería de modo de evitar las áreas de acumulación de nieve, el nuevo ruteo sugerido (anexo 1) aumenta el recorrido de 5,7 km a 6,1 km pero es más favorable para la instalación ya que la pendiente de la misma es más suave y se evitan exceso de puntos bajos donde se produjo el congelamiento.
- Instalación en camellones cada 250 m con mínimo 90 cm de material sobre la cañería de tal manera de evitar el congelamiento, además de mejorar la soportación de la misma. (fig 7) Deben, instalarse camellones por lo menos en las áreas donde pudiera tenerse sombra y no le incida el sol directamente a la cañería, se recomienda en puntos bajos donde el terreno circundante evite la radiación solar en la cañería.

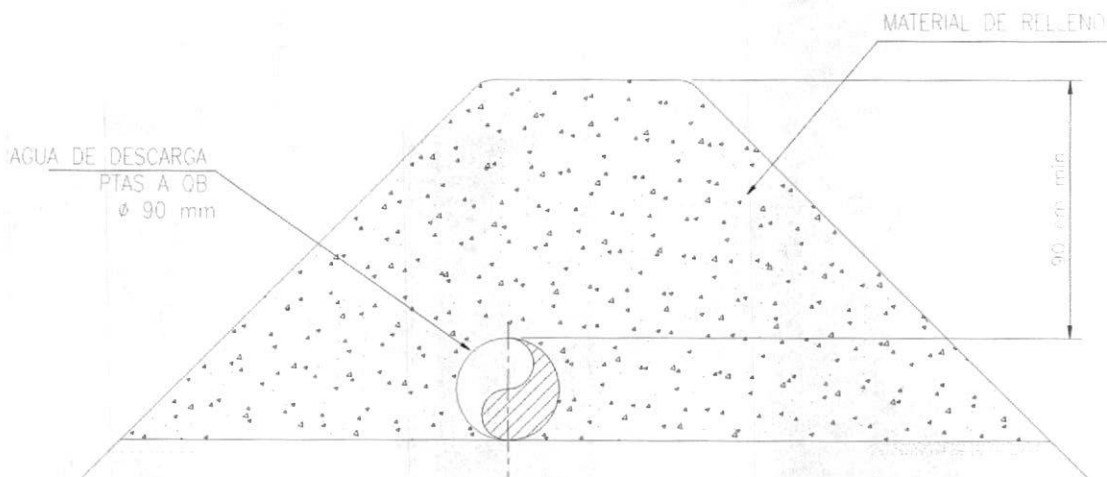


Fig. 7 Distribucion de presion entre nodos J-1 y J-10

- Enterrar la cañería debajo del punto de congelación sería inviable económicamente en un recorrido de 5,7 km.
- Se dispondrán ventosas trifuncionales en los puntos altos del recorrido, en los cambios de elevación y cada 500 m y para así liberar la línea de la sobrepresión del aire

acumulado en los puntos altos, éstas serán de 2" de diámetro, se estiman unas 10 ventosas en todo el recorrido ( fig 8)

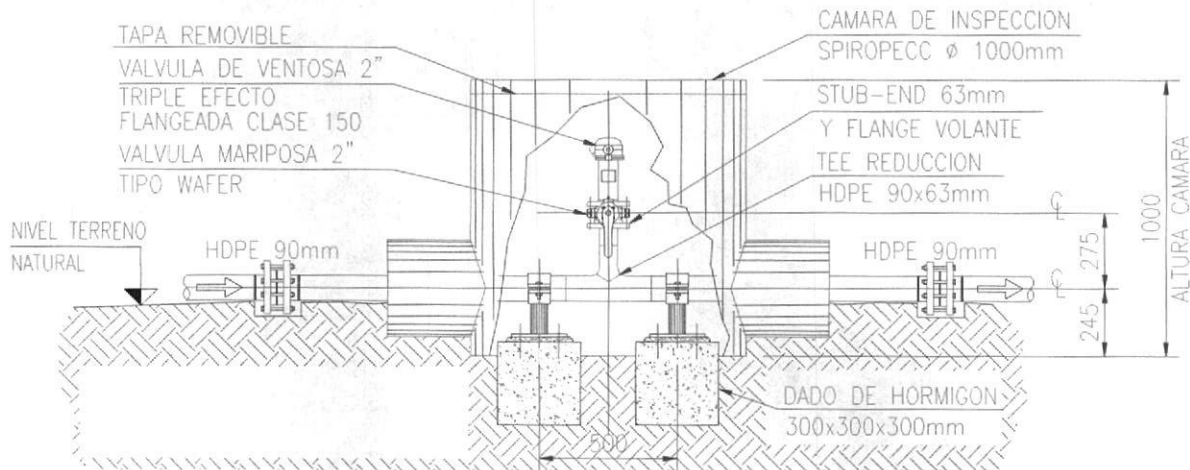


Fig. 8 Instalación propuesta para ventosas del proyecto

- Instalación de cajón disipador o válvulas de regulación antes de los nodos con presión sobre los 100 mca para no sobrepasar la PN de la cañería o instalar cañería de PN mayor (16) y así evitar la rotura de la misma en los últimos puntos del recorrido.
- Para el caso de cajón disipador se diseñaría de la siguiente manera:
  - o Diámetro de cajón: 15 a 20 veces el diámetro de la cañería de entrada: resulta 1,5 m. (elaborado en tubería de spiropec)
  - o Cañería de salida dos veces el diámetro de la cañería de entrada: 180 mm.
  - o Volumen aproximado: 2,5 m<sup>3</sup>,
  - o Según el análisis, si el tendido se realiza con cañería PN10 es requerido mínimo 2 cajones disipadores ( nodos 12 y 19) (Fig 9)
- Realizar conexiones flangeadas cada 96 m para faciitar labores de mantención



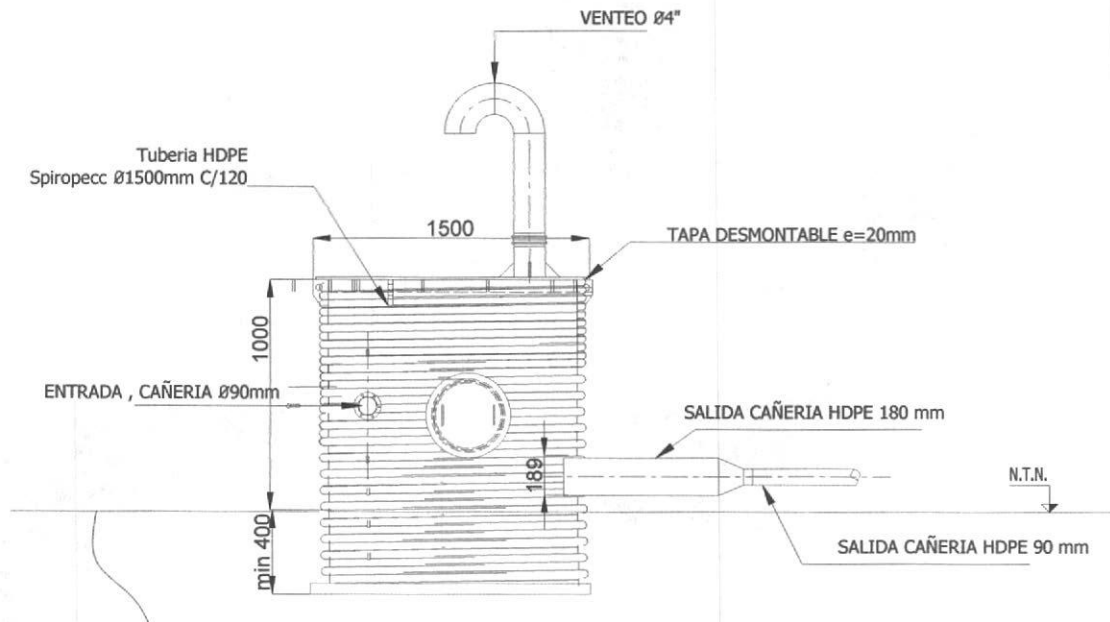


Fig. 9 Diseño básico de cajón disipador propuesto para nodos 12 y 19

Con las mejoras antes mencionadas se evitará el congelamiento de la línea y se podrá dar cumplimiento a los acuerdos con la comunidad Huatacondo y también se podrá dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

Desde el 26-06 se está llevando a cabo la ingeniería de detalles para la mejora del tendido de la línea PTAS-QB de modo de implementar estas soluciones desde el inicio. Por otro lado se están destinando horas de trabajo de geomensura y topografía del terreno con la finalidad de ofrecer un ruteo que beneficie la vida útil de la instalación y evitar pasos donde exista acumulación excesiva de nieve y donde se pueda realizar fácilmente la instalación de las mejoras. Estas mejoras y ruteo están plasmados en Anexo 1 y plano ING095-700-INF-001

## 7 CONCLUSIONES Y STATUS ACTUAL

El tendido actual presenta puntos de sobrepresión desde la mitad de su recorrido en adelante

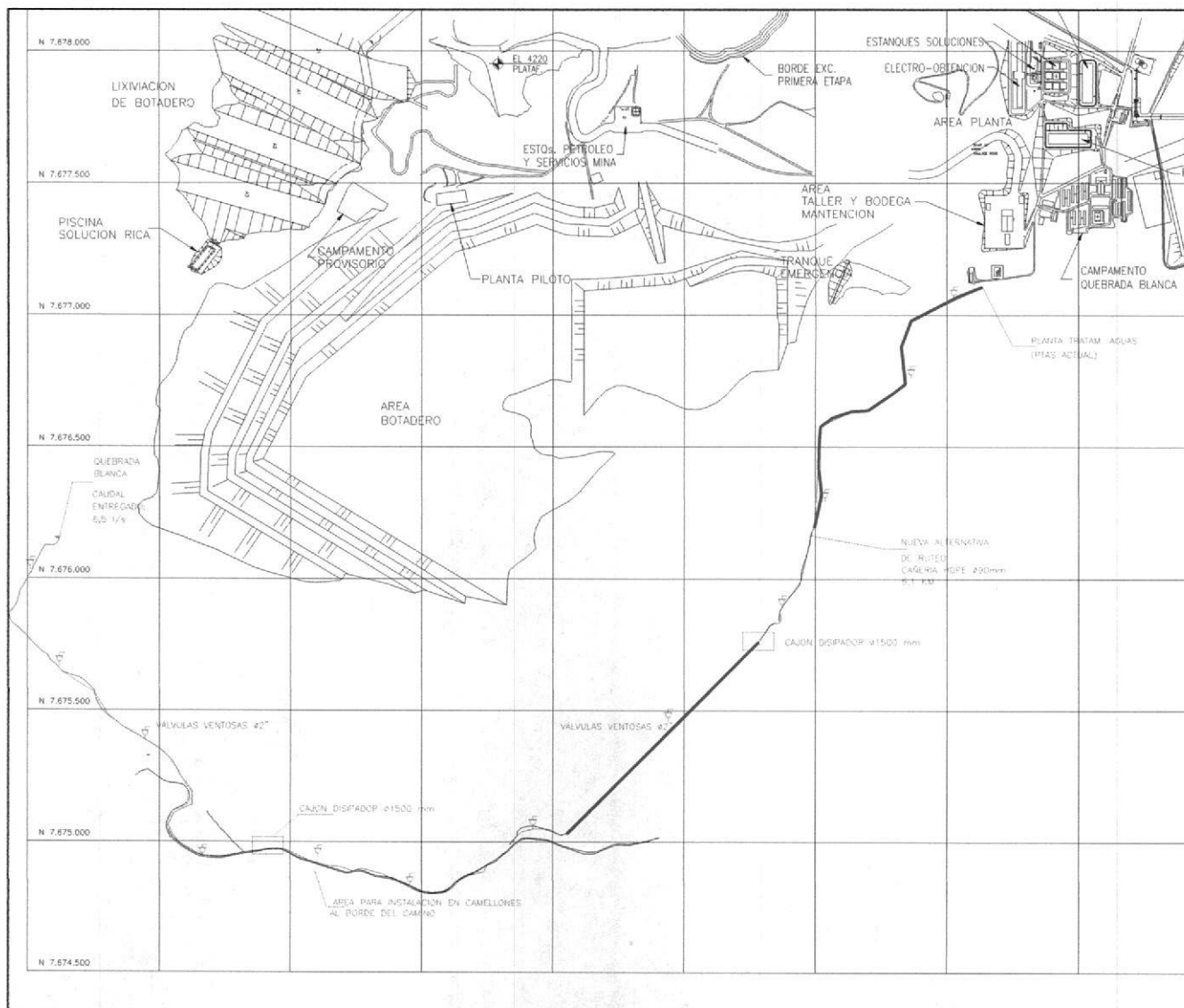
El congelamiento es debido a la falta de aislamiento de las mismas el cual se solventa instalando dentro de camellones de tierra con la debida altura para que funcione de aislante térmico, este se recomienda en zonas donde no incida el sol directamente a la cañería.

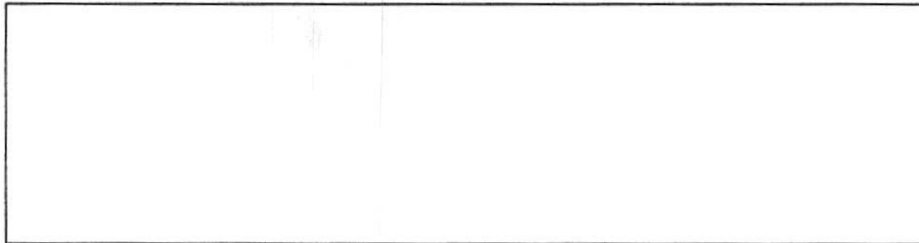
Se detectaron pocos puntos de venteo lo cual no favorece el flujo neto por toda el área de la tubería, la acumulación de aire lleva consigo pérdidas locales de presión que hace que disminuya el flujo y or ende exista más riesgo de congelamiento

Culminación del levantamiento topográfico para propuesta de un nuevo ruteo de cañería para el tendido (en ejecución por la empresa PALHE, desde el 26-06 al 29-06)

Realizar la ingeniería de detalles para las mejoras en el tendido, en ejecución por la empresa PALHE ingeniería desde el 24-06.

**ANEXO 1- RUTEO PROPUESTO (ING095-700-10-PL-001)**





# INFORME SELECCION DE BOMBA

3175-700-04-INF-001

## PROYECTO INGENIERIA SUMINISTRO AGUA PTAS A QUEBRADA BLANCA.

Informe preparado para: MINERA TECK

N° DOC: 3175-700-04-INF-001

B	11/07/2013	Revisión Cliente	J.L.A	P.F	I.M.S		P.S
A	10/07/2013	Revisión Interna PALHE	M.T.R	I.M.S	I.M.S		
REV.	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REV.	APR.	REV.	APR.
			PALHE			TECK	
							



**MINERA TECK**

**PROYECTO SUMINISTRO DE AGUA A QUEBRADA  
BLANCA DESDE PTAS**

**SELECCIÓN DE BOMBAS**

**CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>UBICACIÓN Y CONDICIONES AMBIENTALES .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>ANALISIS HIDRÁULICO DEL TENDIDO REALIZADO .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>DATOS TECNICOS DE LA BOMBA SELECCIONADA .....</b>	<b>7</b>

## **1 INTRODUCCION**

Minera Teck Quebrada Blanca abastece de agua a la Quebrada Blanca ubicada en las cercanías de la mina, específicamente aguas debajo de la cortina hidráulica del Dump, mediante una línea proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS).

Debido a un derrame de petróleo que llegó a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, el agua con la cual se abastece la quebrada se vio contaminada y debido a las exigencias de la autoridad ambiental Minera TECK procedió a implementar una solución de emergencia para mantener el suministro de agua.

Dentro de la solución de emergencia implementada se contempló el tendido de una línea de HDPE de 90 mm desde la PTAS hacia la quebrada, esta instalación se realizó entre los meses de marzo y abril de 2013 en vista del compromiso que tiene Minera TECK.

Por las condiciones climáticas adversas que se han producido en el último tiempo en la zona donde se encuentra instalada la línea y en vista de que la instalación sólo posee los dispositivos mínimos necesarios para el suministro de agua y no fueron contemplados ciertos criterios técnicos que le dan mayor vida útil a la instalación la línea sufrió congelamiento del agua por lo cual se vio interrumpido el servicio.

Este informe contempla la selección del equipo de bombeo requerido para la nueva solución de ingeniería de tendido de cañería

## **2 ALCANCE**

El objetivo del presente documento es establecer la selección de las bombas centrífugas horizontales para el proyecto "Proyecto Ingeniería Suministro para agua desde Ptas a Quebrada Blanca".

## **3 UBICACIÓN Y CONDICIONES AMBIENTALES**

El yacimiento de la Compañía minera Quebrada Blanca está ubicado en la Primera Región de Chile – Tarapacá Provincia de Iquique Comuna de Pica. La propiedad se encuentra a una altura de 4.200 a 4.400 m.s.n.m y presenta las siguientes condiciones atmosféricas relevantes para el diseño:

**TEMPERATURA**

Temperatura Promedio Anual:	5 °C
Día Invierno:	-5 a 5 °C
Noche Invierno:	-5 a -25 °C
Día Verano:	15 a 20 °C
Noche Verano:	0 °C

**HUMEDAD**

Promedio Anual:	28%
Máxima:	50%
Mínima:	3%

**PRESIÓN BAROMÉTRICA**

Promedio: 61,2 KPa

**NEVADAS** 1 m de Nieve

**PRECIPITACIÓN** 150 mm/año

**SISMO** UBC 4

**ALTURA** 4.200-4.400 m.s.n.m

**RADIACIÓN** 1.200 W/m<sup>2</sup>

**4 SITUACION ACTUAL**

La cañería actual se encuentra alimentada por un sistema de bombeo de 6,5 l/s a 60 m.c.a alimentada con presión positiva desde un estanque proveniente de la PTAS.

La correcta selección de la bomba consistió en comprobar si la bomba actual es adecuada para el nuevo ruteo o se requería otra de mayor capacidad de acuerdo a la nueva ruta de cañería.

**5 ANALISIS HIDRÁULICO DEL TENDIDO REALIZADO**

En la figura 1 se representa con línea azul la elevación de los puntos de la nueva ruta de la cañería la altura y el grado hidráulico que posee la misma respecto al sistema de bombeo instalado actualmente con 60 m.c.a con línea roja.

Se observa que para ciertos puntos donde la elevación de la cañería supera el grado hidráulico (línea roja) se tendrá presión negativa y por tanto el sistema de bombeo actual es insuficiente para vencer la altura estática.

Se realizó la simulación con un sistema de bombeo de 85 m.c.a de presión de descarga y resulta aceptable (línea verde) El sistema de bombeo sugerido tiene el THD suficiente como para alcanzar el punto en la distancia 1800 (mayor exigencia) aunque con una holgura muy baja para sobrepasar el punto más alto del perfil, por tanto se considerara un factor de 15% adicional para garantizar el correcto funcionamiento del sistema en caso de pérdidas no contempladas en el cálculo.

En conclusión una bomba de 6,5 l/s a 100 m.c.a (ver resultado línea azul)

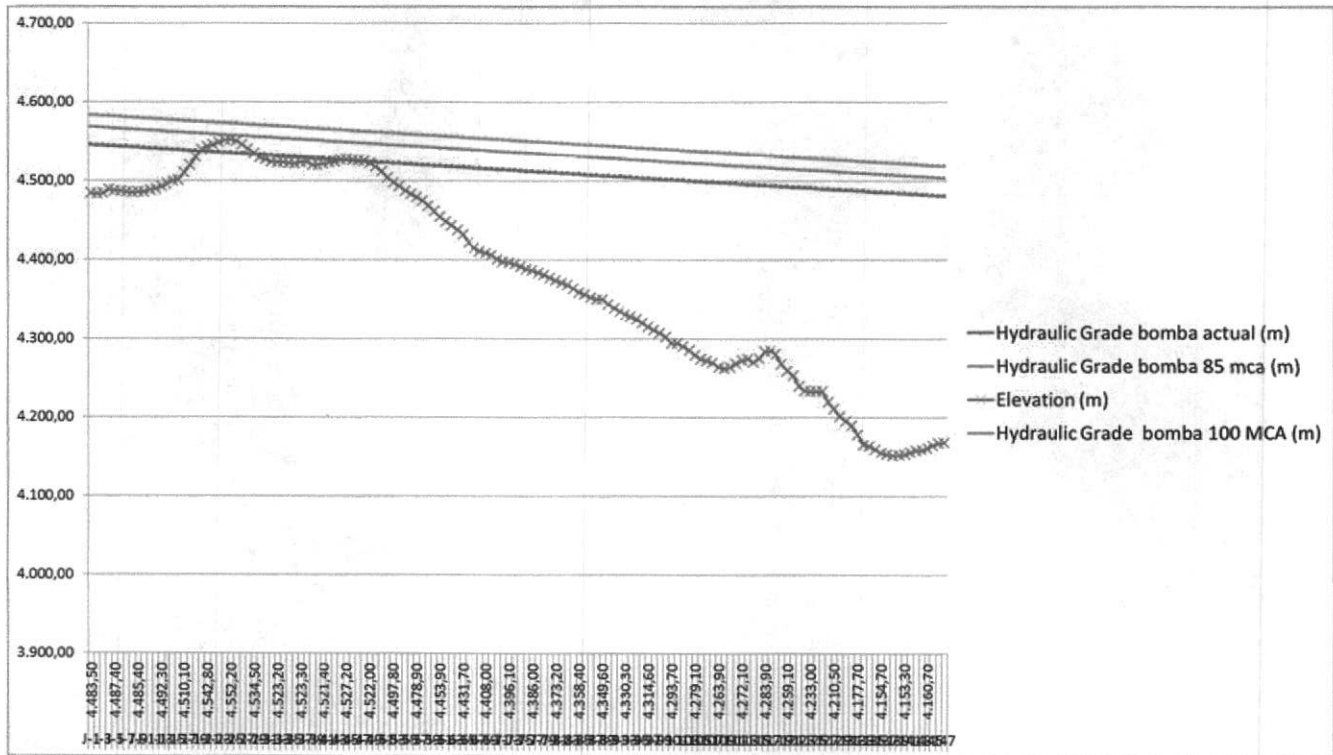


Fig. 1 Gráficas del comportamiento del sistema con diferentes sistemas de bombeo

El análisis se realizó mediante el programa computacional WATERCAD V8i, dando como resultado la presión en los nodos y el grado hidráulico.

En cuanto al grado de resistencia de la cañería del sistema, en la figura 2 se observa que el grado hidráulico siempre está por debajo de la presión nominal máxima para una cañería de HDPE PN16 e incluso de una cañeria PN 10 por lo cual el sistema se diseñará con cañería de HDPE PN 10.



Perfil Piezométrica Cañería QB - Ptas

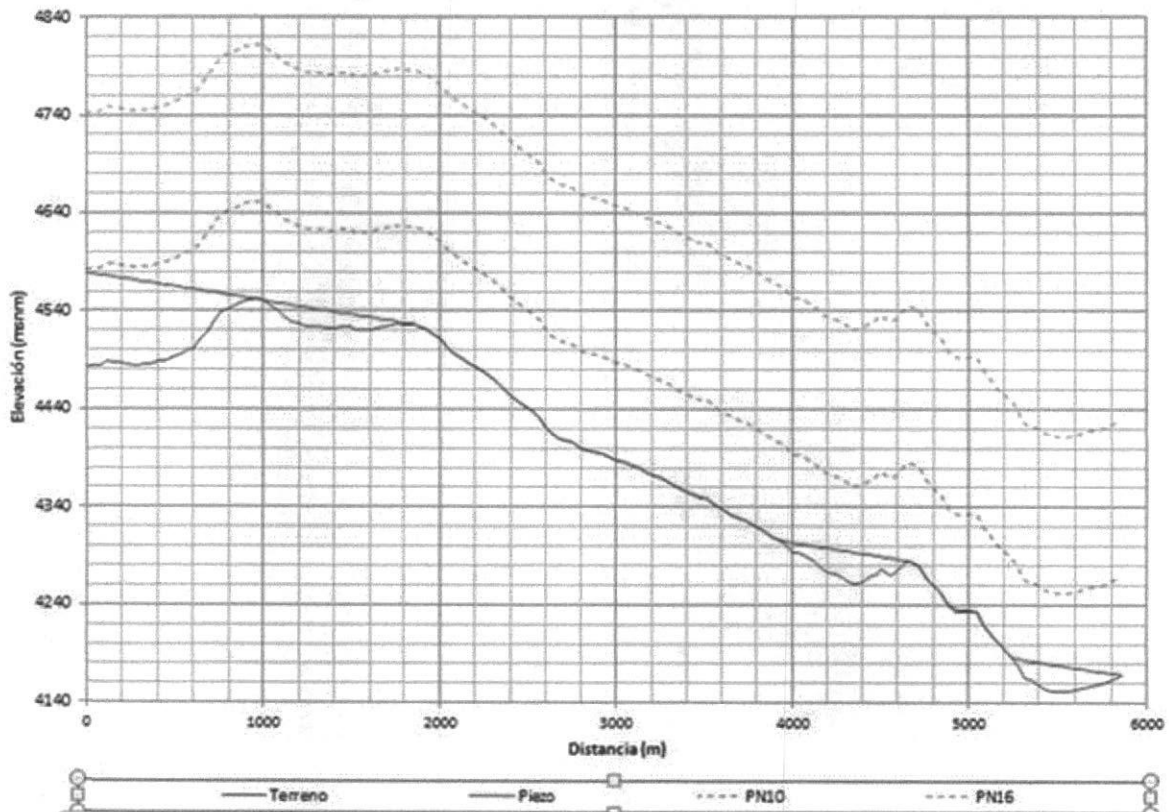


Fig. 2 Gráficas comparativas del gradiente hidráulico respecto a la resistencia de cañerías PN10 y PN16

## 6 DATOS TECNICOS DE LA BOMBA SELECCIONADA

### Datos técnicos

Líquido: Agua fresca

Rango de temperatura del líquido: 0 - 120 °C

Densidad: 998.2 kg/m<sup>3</sup>

### Técnico:

Tipo: centrifuga horizontal entrada axial

Caudal nominal: 23 m<sup>3</sup>/h

Altura nominal: 100 m.c.a

Diámetro real del impulsor: 298mm (a confirmar por fabricante)

**Teck****Materiales:**

Cuerpo hidráulico: Fundición: EN-GJL-250 ASTM A48-40 B

Impulsor: Fundición EN-GJL-200 ASTM A48-30 B

Caucho: EPDM

**Instalación:**

Temperatura ambiental máxima: 40 °C

Presión de trabajo máxima: 16 bar

Tipo de brida:	ANSI
Aspiración:	DN 65
Descarga:	DN 40
Presión:	PN16
Tipo de acoplamiento:	Estándar

**Datos eléctricos:**

Potencia nominal - P2: 25 kW (Derateado a 4500 msnm )

Frecuencia de alimentación: 50 Hz

Tensión nominal: 3 x 380-415D/660-690Y V

Intensidad de arranque: 650-650 %

Cos phi - Factor de potencia: 0,90

Grado de protección (IEC 34-5): 55 (Protect. water jets/dust)

Clase de aislamiento (IEC 85): F

Tipo lubricante: Grasa

**Otros:**

Peso neto: 340 kg

Volumen: 1,2 m3

**Cantidad a instalar:** 2 ( en paralelo)

Punto de operación.

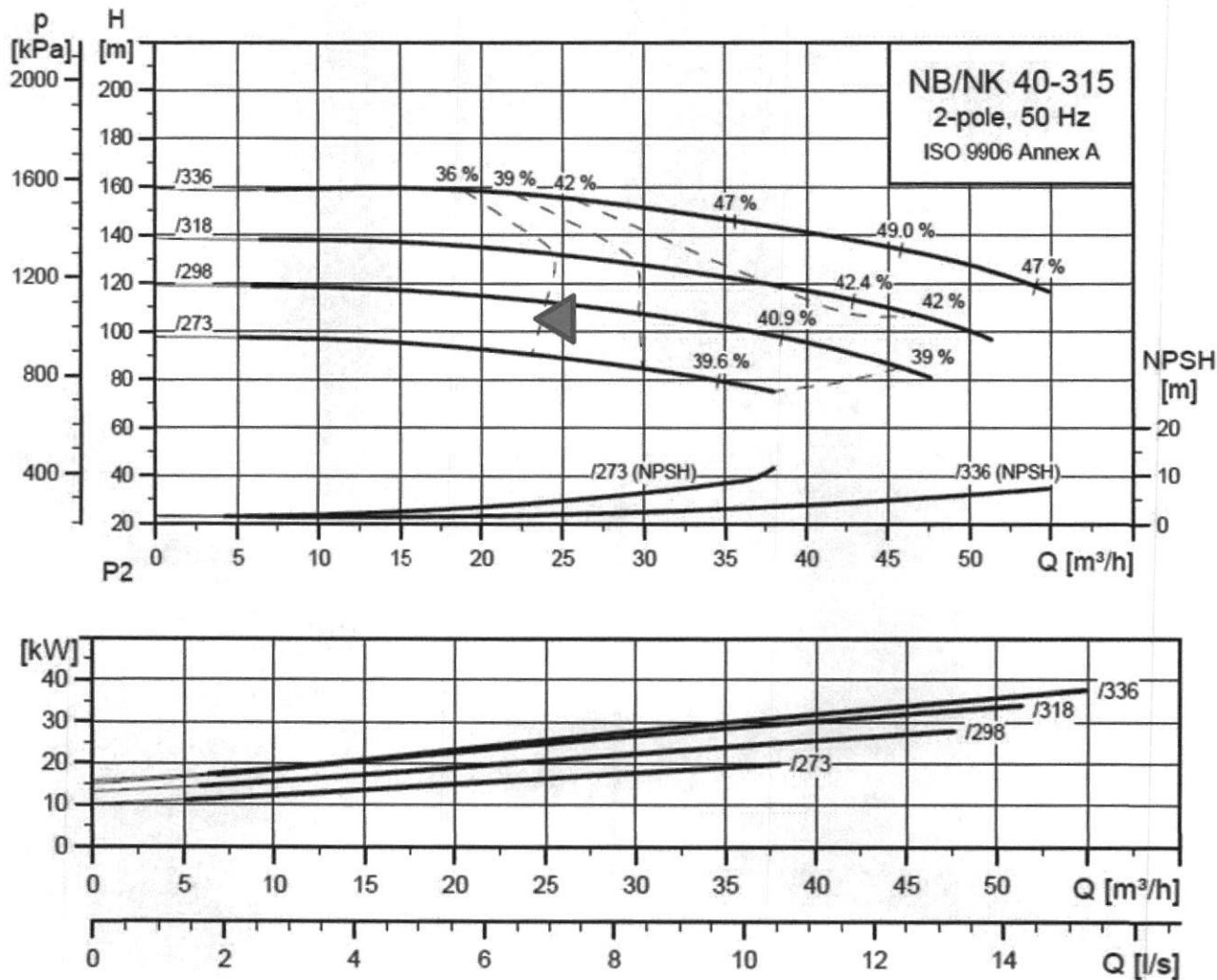
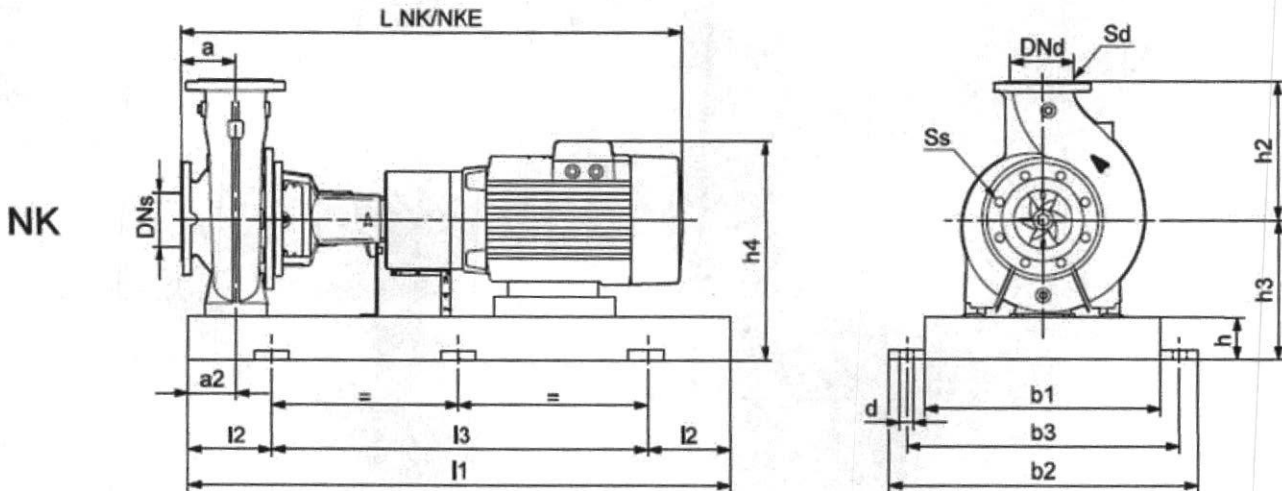


Fig. 3 Punto operación bomba seleccionada

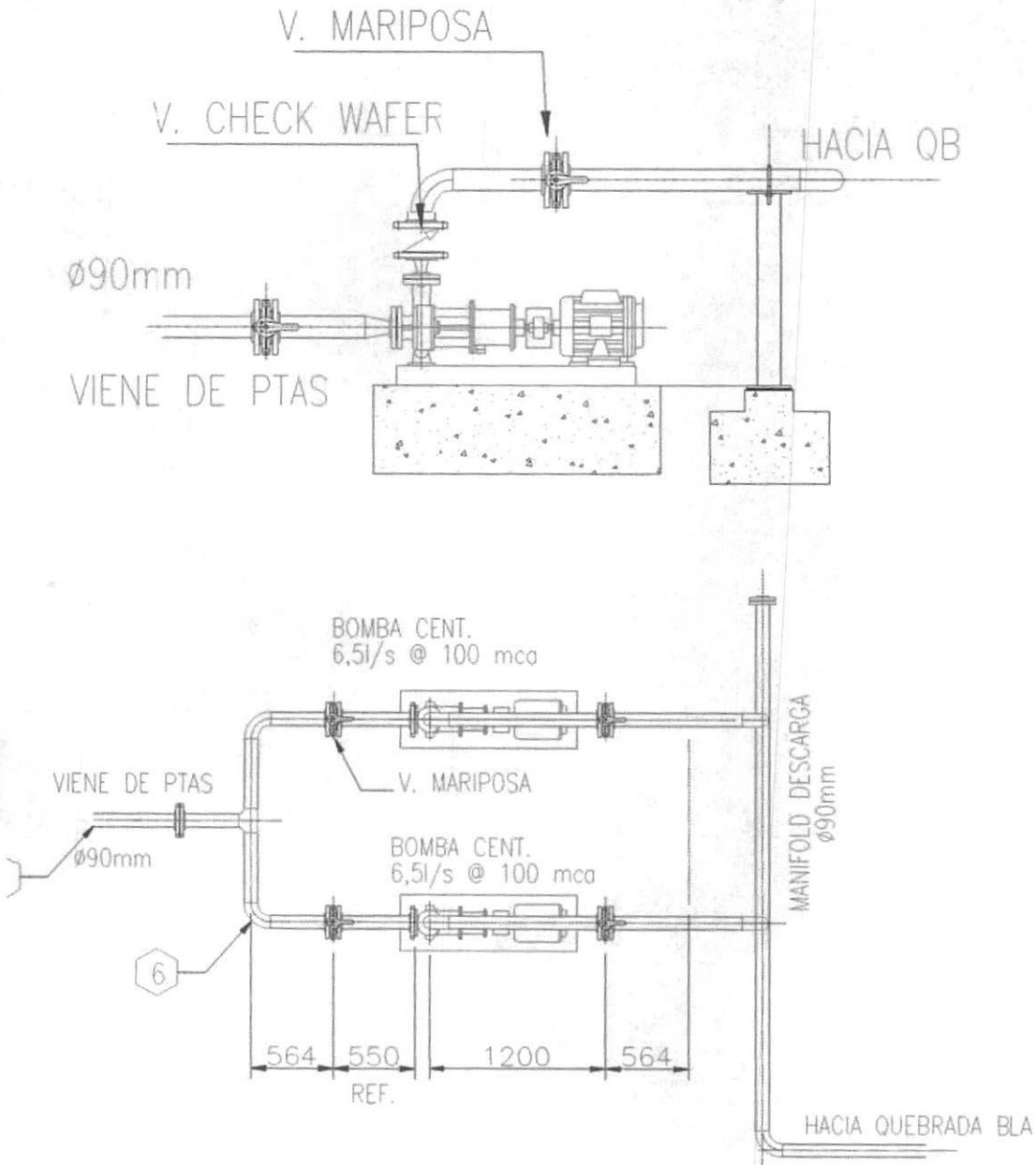
**DIMENSIONES DEL EQUIPO (aproximadas)**










Tipo de bomba	40-315/273		
Tipo de motor	Motor de gama alta	Siemens 180M <sup>o</sup>	
	Motor eléctrico	MGE 180MB-F	
Datos generales NB/NK	P2	[kW]	22
	PN	[bar]	16
	DN <sub>s</sub>	[mm]	65
	DN <sub>d</sub>	[mm]	40
	a	[mm]	125
	h2	[mm]	250
	S <sub>s</sub>		4 x Ø19
	S <sub>d</sub>		4 x Ø19
Datos NK	L NK <sup>1)</sup>	[mm]	1314/1410
	L NKE <sup>1)</sup>	[mm]	1250/1346
	l1	[mm]	1250
	l2	[mm]	205
	l3	[mm]	840
	b1	[mm]	430
	b2	[mm]	540
	b3	[mm]	490
	d	[mm]	24
	a2	[mm]	75
	h	[mm]	80
	h3	[mm]	280
h4 <sup>2)</sup>	[mm]	538/642	








**ESQUEMA DE INSTALACION**



**Anexo 1. Planilla de registro de Caudal del sistema de Recarga**

Fecha	Litros/ Segundo	Litros Acumulado	Observacion
31/08/2013	7.21	8202154	
01/09/2013	7.88	8525178	
02/09/2013	7.57	8840922	
03/09/2013	8.2	9548276	
04/09/2013	7.9462	148427	
05/09/2013	7.5	719145	
06/09/2013	6.9309	1574889	

07/09/2013	5.2108	1776068	 <p>+5.2108 1/s +1776068 1</p>
08/09/2013	5.55	1920594	 <p>+5.5585 1/s +1920594 1</p>
09/09/2013	5.9826	2513432	 <p>+5.9826 1/s +2513432 1</p>
10/09/2013	6.477	2720109	 <p>+6.4771 1/s +2720109 1</p>
11/09/2013	6.5337	3433580	 <p>+6.5337 1/s +3433580 1</p>

C

C

O

1

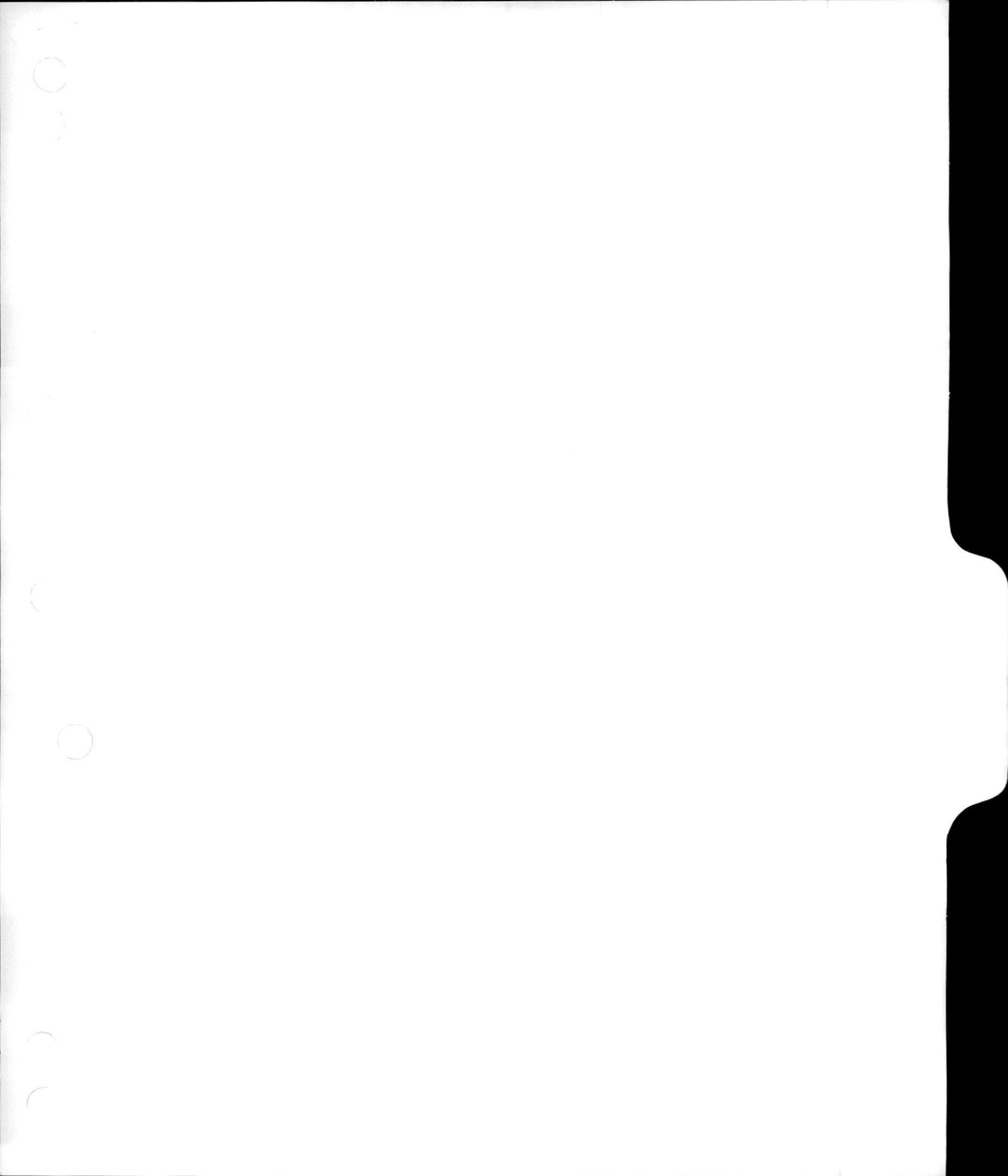
C



**Planilla recarga y riego con camión aljibe**

N°	Fecha	Vehículo	Patente	Empresa	Hora bajada	Hora subida	C/litros	Observaciones
1	29/04/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:35	12:50	20,000	
2	30/04/2013	Camión aljibe		Ingedemin	11:00	13:18	20,000	
3	01/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:55	12:12	20,000	
4	02/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	11:50	14:11	20,000	
5	03/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:15	12:28	20,000	
6	04/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:45	12:06	20,000	
7	05/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:35	12:31	20,000	
8	06/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	11:00	13:04	20,000	
9	07/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:20	11:31	20,000	
10	08/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:50	12:54	20,000	
11	09/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:25	12:28	20,000	
12	10/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:45	11:52	20,000	
13	11/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:40	12:47	20,000	
14	12/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	11:35	13:41	20,000	
15	13/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:10	12:35	20,000	
16	14/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	11:15	13:28	20,000	
17	15/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:05	12:19	20,000	
18	16/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:35	12:38	20,000	
19	17/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:25	11:36	20,000	
20	18/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:15	12:00	20,000	
21	19/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:05	12:30	20,000	
22	20/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:20	12:34	20,000	
23	21/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	11:00	13:12	20,000	
24	22/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:15	12:28	20,000	
25	23/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:30	11:44	20,000	
26	24/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:50	12:05	20,000	
27	25/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:30	11:48	20,000	
28	26/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:35	12:05	20,000	
29	27/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:05	12:20	20,000	
30	28/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	17:00	21:00	20,000	
31	29/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:30	18:45	40,000	
32	30/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:30	19:00	40,000	
33	31/05/2013	Camión aljibe		Ingedemin	12:00	15:30	20,000	
34	01/06/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:55	13:12	20,000	
35	02/06/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:30	12:10	20,000	
36	03/06/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:15	13:50	20,000	
37	04/06/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:35	12:50	20,000	
38	05/06/2013	Camión aljibe						Acumulación de nieve en caminos impide el traslado.
39	06/06/2013	Camión aljibe		Ingedemin	09:15	11:40	20,000	
40	07/06/2013	Camión aljibe		Ingedemin	11:00	13:00	20,000	
41	08/06/2013	Camión aljibe		Ingedemin	10:00	13:30	20,000	
42	09/06/2013	Camión aljibe		Elecon	12:00	15:30	20,000	
43	10/06/2013	Camión aljibe		Elecon	10:00	13:30	20,000	
44	11/06/2013	Camión aljibe		Elecon	12:00	15:30	20,000	
45	12/06/2013	Camión aljibe		Elecon	09:55	13:12	20,000	
46	13/06/2013	Camión aljibe		Elecon	10:00	13:30	20,000	
47	14/06/2013	Camión aljibe		Elecon	10:00	13:30	20,000	
48	15/06/2013	Camión aljibe		Elecon	12:00	15:30	20,000	
49	16/06/2013	Camión aljibe		Elecon	10:00	13:30	20,000	
50	17/06/2013	Camión aljibe		Elecon	12:00	15:30	20,000	
51	18/06/2013	Camión aljibe		Elecon	09:55	13:12	20,000	
52	19/06/2013	Camión aljibe		Elecon	10:00	13:30	20,000	
53	20/06/2013	Camión aljibe		Elecon	10:00	13:30	20,000	
54	21/06/2013	Camión aljibe		Elecon	10:00	13:30	20,000	
55	22/06/2013	Camión aljibe						No se puede recargar debido a las condiciones climaticas severas
56	23/06/2013	Camión aljibe		Elecon	12:00	15:30	20,000	
57	24/06/2013	Camión aljibe						No se puede recargar debido a las condiciones climaticas severas
58	25/06/2013	Camión aljibe						No se puede recargar debido a las condiciones climaticas severas
59	26/06/2013	Camión aljibe						No se puede recargar debido a las condiciones climaticas severas
60	27/06/2013	Camión aljibe		Elecon	09:55	13:12	20,000	
61	28/06/2013	Camión aljibe		Elecon	12:00	15:30	20,000	
62	29/06/2013	Camión aljibe		Elecon	09:30	12:10	20,000	
63	30/06/2013	Camión aljibe		Elecon			20,000	
64	01/07/2013	Camión aljibe		Elecon	09:30	12:10	20,000	
65	02/07/2013	Camión aljibe		Elecon	11:00	13:00	20,000	
66	03/07/2013	Camión aljibe		Elecon	11:00	13:00	20,000	
67	04/07/2013	Camión aljibe		Elecon	11:00	13:00	20,000	
68	05/07/2013	Camión aljibe		Elecon	09:30	12:10	20,000	
69	06/07/2013	Camión aljibe		Elecon	11:00	13:00	20,000	
70	07/07/2013	Camión aljibe		Elecon	12:00	15:30	20,000	
71	08/07/2013	Camión aljibe		Elecon	11:00	13:00	20,000	
72	09/07/2013	Camión aljibe		Elecon	11:00	13:00	20,000	

73	10/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
74	11/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
75	12/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
76	13/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
77	14/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
78	15/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
79	16/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
80	17/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
81	18/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
82	19/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
83	20/07/2013	Camión aljibe					Condiciones de clima Adversa - acumulacione de nieve en caminos
84	21/07/2013	Camión aljibe					Se suspenden los trabajos por condiciones climáticas adversas
85	22/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
86	23/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
87	24/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
88	25/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
89	26/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
90	27/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
91	28/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
92	29/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
93	30/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
94	31/07/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
95	01/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
96	02/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
97	03/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
98	04/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
99	05/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
100	06/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
101	07/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
102	08/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
103	09/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
104	10/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
105	11/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
106	12/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
107	13/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
108	14/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
109	15/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
110	16/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
111	17/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
112	18/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
113	19/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
114	20/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
115	21/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
116	22/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
117	23/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
118	24/08/2013	Camión aljibe					Condiciones climáticas adversas
119	25/08/2013	Camión aljibe					Condiciones climáticas adversas
120	26/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
121	27/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	10:00	13:30	20,000	
122	28/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
123	29/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
124	30/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	10:00	13:30	20,000	
125	31/08/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
126	01/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
127	02/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	10:00	13:30	20,000	
128	03/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
129	04/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
130	05/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
131	06/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
132	07/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	10:00	13:30	20,000	
133	08/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
134	09/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	
135	10/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	12:00	15:30	20,000	
136	11/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	10:00	13:30	20,000	
137	12/09/2013	Camión aljibe	Eleccion	11:00	13:00	20,000	



**Planilla recarga bebederos**

N°	Fecha	Revisión Estaciones	Recarga	Observaciones
1	12/05/2013	Si	Primera	
2	13/05/2013	Si		
3	14/05/2013	Si		
4	15/05/2013	Si	si	
5	16/05/2013	Si		
6	17/05/2013	Si		
7	18/05/2013	Si	si	
8	19/05/2013	Si		
9	20/05/2013	Si		
10	21/05/2013	Si		
11	22/05/2013	Si	si	
12	23/05/2013	Si		
13	24/05/2013	Si		
14	25/05/2013	Si	si	
15	26/05/2013	Si		
16	27/05/2013	Si		
17	28/05/2013	Si		
18	29/05/2013	Si	si	
19	30/05/2013	Si		
20	31/05/2013	Si		
21	01/06/2013	Si	si	
22	02/06/2013	Si		
23	03/06/2013	Si		
24	04/06/2013	Si		
25	05/06/2013	Si	No nieve	
26	06/06/2013	Si	si	
27	07/06/2013	Si		
28	08/06/2013	Si		
29	09/06/2013	Si	si	
30	10/06/2013	Si		
31	11/06/2013	Si		
32	12/06/2013	Si	si	
33	13/06/2013	Si		
34	14/06/2013	Si		
35	15/06/2013	Si	si	
36	16/06/2013	Si		
37	17/06/2013	Si		
38	18/06/2013	Si		
39	19/06/2013	Si	si	
40	20/06/2013	Si		
41	21/06/2013	Si		
42	22/06/2013	Si	No nieve	No se puede recargar debido a las condiciones climaticas severas
43	23/06/2013	Si	si	
44	24/06/2013	Si	No nieve	
45	25/06/2013	Si	No nieve	
46	26/06/2013	Si	No nieve	No se puede recargar debido a malas condiciones del camino
47	27/06/2013	Si	si	



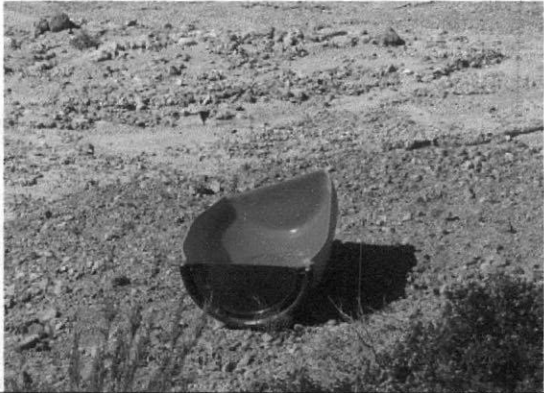

48	28/06/2013	Si		
49	29/06/2013	Si		
50	30/06/2013	Si	si	
51	01/07/2013	Si		
52	02/07/2013	Si		
53	03/07/2013	Si	si	
54	04/07/2013	Si		
55	05/07/2013	Si		
56	06/07/2013	Si	si	
57	07/07/2013	Si		
58	08/07/2013	Si		
59	09/07/2013	Si	si	
60	10/07/2013	Si		
61	11/07/2013	Si		
62	12/07/2013	Si	si	
63	13/07/2013	Si		
64	14/07/2013	Si		
65	15/07/2013	Si	si	
66	16/07/2013	Si		
67	17/07/2013	Si		
68	18/07/2013	Si	si	
69	19/07/2013	Si		
70	20/07/2013	Si	NO	Se suspenden los trabajos por condiciones climáticas adversas
71	21/07/2013	Si	NO	Se suspenden los trabajos por condiciones climáticas adversas
72	22/07/2013	Si		
73	23/07/2013	Si	si	
74	24/07/2013	Si		
75	25/07/2013	Si	si	
76	26/07/2013	Si		
77	27/07/2013	Si	si	
78	28/07/2013	Si		
79	29/07/2013	Si		
80	30/07/2013	Si	si	
81	31/07/2013	Si		
82	01/08/2013	Si		
83	02/08/2013	Si	si	
84	03/08/2013	Si		
85	04/08/2013	Si		
86	05/08/2013	Si	si	
87	06/08/2013	Si		
88	07/08/2013	Si		
89	08/08/2013	Si	si	
90	09/08/2013	Si		
91	10/08/2013	Si		
92	11/08/2013	Si	si	
93	12/08/2013	Si		
94	13/08/2013	Si		
95	14/08/2013	Si	si	
96	15/08/2013	Si		
97	16/08/2013	Si		
98	17/08/2013	Si	si	
99	18/08/2013	Si		









100	19/08/2013	SI		
101	20/08/2013	SI	si	
102	21/08/2013	SI		
103	22/08/2013	SI		
104	23/08/2013	SI	si	
105	24/08/2013	NO		Condiciones climáticas adversas
106	25/08/2013	NO		Condiciones climáticas adversas
107	26/08/2013	SI	si	
108	27/08/2013	SI		
109	28/08/2013	SI		
110	29/08/2013	SI	si	
111	30/08/2013	SI		
112	31/08/2013	SI		
113	01/09/2013	SI	si	
114	02/09/2013	SI		
115	03/09/2013	SI		
116	04/09/2013	SI	si	
117	05/09/2013	SI		
118	06/09/2013	SI	si	
119	07/09/2013	SI		
120	08/09/2013	SI	si	
121	09/09/2013	SI		
122	10/09/2013	SI	si	
123	11/09/2013	SI		
124	12/09/2013	SI	si	






**Anexo**  
**Tipo y localización de Bebederos (WGS84)**




N°		Este	Norte	Imagen
1	Macromamíferos	515683	7671052	
2	Aves	515668	7671875	




N°		Este	Norte	Imagen
3	Microfauna	515667	7671917	
4	Microfauna	515605	7672298	
5	Aves	515607	7672282	


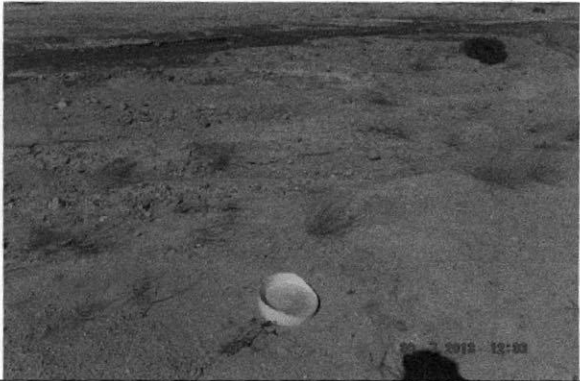

N°		Este	Norte	Imagen
6	Macromamíferos	515622	7672249	
7	Microfauna	515672	7672712	
8	Aves	515683	7672691	






N°		Este	Norte	Imagen
9	Macromamíferos	515660	7672664	
10	Aves	515652	7673030	
11	Macromamíferos	515669	7673015	

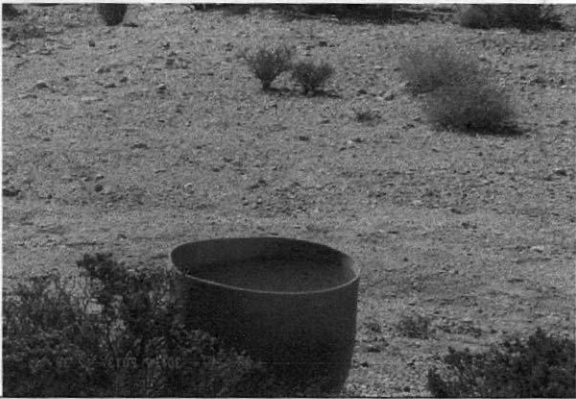
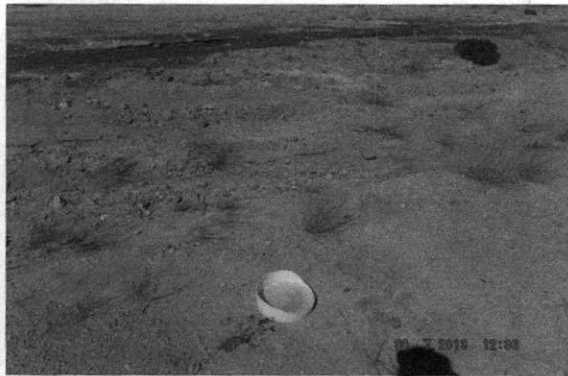

N°		Este	Norte	Imagen
12	Microfauna	515668	767069	
13	Macromamíferos	515707	7673329	
14	Aves	515734	7673339	




N°		Este	Norte	Imagen
15	Microfauna	515762	7673364	
16	Microfauna	515954	7673567	
17	Aves	515960	7673595	




N°		Este	Norte	Imagen
18	Macromamíferos	515955	7673625	
19	Microfauna	515946	7674055	
20	Aves	515952	7674024	


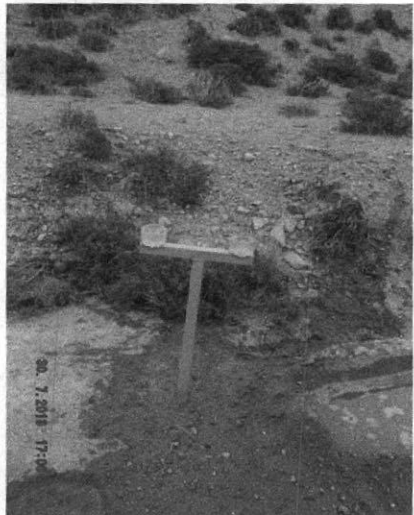
N°		Este	Norte	Imagen
21	Macromamíferos	515954	7673992	
22	Macromamíferos	516059	7674394	
23	Macromamíferos	516069	7674384	



N°		Este	Norte	Imagen
24	Macromamíferos	516306	7674355	
25	Microfauna	517089	7675202	
26	Aves	517078	7675188	

N°		Este	Norte	Imagen
27	Macromamíferos	517045	7675160	
28	Macromamíferos	517173	7675320	
29	Microfauna	517145	7675344	

N°		Este	Norte	Imagen
30	Macromamíferos	517163	7675375	
31	Macromamíferos	517229	7675476	
32	Microfauna	516984	7675089	

N°		Este	Norte	Imagen
33	Macromamíferos	516952	7675042	
34	Aves	516976	7675070	



2





### Características de la Instalación

La instalación está ubicada dentro de un edificio(1)	SI	
	NO	X
N° Resolución Exenta SEC		

Existe un curso de agua, de origen superficial o subterráneo, destinado a la captación a menos de 300 metros (1)	SI	
	NO	X

Tipo de Instalación (1)	Nueva	
	Existente	X

En la Instalación se suministra gas licuado a vehículos (1)	SI	
	NO	X
N° Inscripción		
Año Inscripción		

En la Instalación se suministra gas natural a vehículos (1)	SI	
	NO	X
N° Inscripción		
Año Inscripción		

Nota (1): Marcar con una "x" donde corresponda

### VI. Antecedentes Compañía Distribuidora que Abastece

9 9 5 2 0 0 0 0 - 7	COMPañía DE PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.
RUT	Nombre Empresa

### Detalles de la Instalación

#### Capacidad de almacenamiento

TK N°	Clase CL (I / II)	Tipo CL	Ubicación TK (3)	Posee SRV (S/N)	Cap. (m³)	Tipo de TK (4)	N/D (5)	Inscripción	
								N°	Año
1	II	PD	S	N	30	PS	N		
2									
3									
4									
5									
6									

N° y fecha de Res. de Calificación Ambiental.	
Fecha de la última Resolución de Calificación Ambiental	
N° y fecha de Inscripción SEC Electricidad.	

#### Notas:

- (1) Marcar con una "x" donde corresponda
- (3) E: estanque enterrado S: estanque superficie
- (4) Pared simple o doble pared
- (5) N corresponde a estanque no declarado anteriormente en SEC  
D corresponde a estanque declarado en SEC anteriormente

### Firmas de responsabilidad

El profesional que suscribe declara que la instalación que se inscribe, se ha ejecutado conforme a las disposiciones contenidas en el respectivo Reglamento y en las disposiciones legales, reglamentarias y técnicas sobre la materia y que la documentación que se adjunta es concordante con el diseño y construcción de la misma, a la vez que cumple con los decretos y cuerpos normativos que corresponden.

El propietario de la instalación que se inscribe, a través de su representante legal, cuando corresponda, declara que ha velado que el diseño, construcción y modificación de ésta, se ajuste a las disposiciones legales, reglamentarias y técnicas sobre la materia, y que ha encomendado dichas actividades a profesionales que cuentan con los conocimientos y competencias para ello.

#### USO EXCLUSIVO DE SEC

N° de FOLIO:

157

FECHA:

11 SEP 2013

*[Firma]*  
Firma

*[Firma]*  
Firma  
Compañía Minera  
Quebrada Blanca S.A.

*[Firma]*  
Firma  
Teck

Esta inscripción no constituye aprobación por parte de SEC.  
La modificación de las condiciones originales de la instalación deja sin efecto el presente documento.





# DECLARACIÓN DE INSTALACIONES DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

# TC4

## I. Antecedentes del Profesional que declara

1	3	0	0	5	4	9	4	-	3	SALVADOR ESTEBAN COLUCCIO FUMEY			
RUT										Nombre Completo			
PUDAHUEL N° 0355										ARICA			
Domicilio Particular										Comuna			
INGENIERO CIVIL MECANICO					058-2249956			87299848		scolucciof@hotmail.com			
Título Profesional					Teléfono Fijo			Teléfono Celular		Correo Electrónico			

## II. Antecedentes del Propietario de la Instalación

Tipo de propietario (1)	Empresa	<input checked="" type="checkbox"/>	Particular	<input type="checkbox"/>											
9	6	5	6	7	0	4	0	-	8	COMPAÑIA MINERA TECK QUEBRADA BLANCA					
RUT Propietario										Nombre Propietario					
057-2528110										ESMERALDA N° 340, PISO 10			IQUIQUE		
Teléfono Fijo										Domicilio Propietario				Comuna	
7	7	7	8	4	8	3	-	7	ALVARO DIAZ VEGA						
RUT Representante Legal										Nombre Representante Legal Propietario					
057-2528110										ESMERALDA N° 340, PISO 10			IQUIQUE		
Teléfono Fijo										Domicilio Representante Legal Propietario				Comuna	

## III. Antecedentes del Operador legal de la Instalación

Tipo de Operador (*) (1)	Empresa	<input checked="" type="checkbox"/>	Particular	<input type="checkbox"/>											
9	6	5	6	7	0	4	0	-	8	COMPAÑIA MINERA TECK QUEBRADA BLANCA					
RUT Empresa										Nombre Operador					
057-2528110										ESMERALDA N° 340, PISO 10			IQUIQUE		
Teléfono Fijo										Domicilio del Operador				Comuna	
7	7	7	8	4	8	3	-	7	ALVARO DIAZ VEGA						
RUT Representante Legal										Nombre Representante Legal Operador					
057-2528110										ALVARO DIAZ VEGA			IQUIQUE		
Teléfono Fijo										Domicilio Representante Legal Operador				Comuna	

## IV. Antecedentes del Experto Profesional o Técnico en Prevención de Riesgos.

1	2	4	3	9	1	7	6	-	8	FERNANDO JOSE SOLAR BARRAZA					
RUT										Nombre Completo					
Reg.										IQ.P-037			057-439220		
N° Oficio SEC					N° Credencial Servicio de Salud					Teléfono Fijo					
DIEGO PORTALES N° 920					IQUIQUE					Fecha desde la cual Asesorará la Instalación Declarada		01-08-2013			
Domicilio Particular										Comuna					

## V. Antecedentes de la Instalación

Tipo de Instalación (1)	Uso Industrial	<input checked="" type="checkbox"/>	Uso Domiciliario	<input type="checkbox"/>	Abastecimiento Vehicular propio consumo	<input type="checkbox"/>	Abastecimiento Vehicular de Expendio al Público	<input type="checkbox"/>	
Ubicación de la Instalación	FAENA MINERA TECK QUEBRADA BLANCA				S/N	2528212			
	Calle/Avenida/Ruta/Pasaje/Camino				N°	Fono/Fax			
	PRIMERA	PICA							
	Región	Comuna			Rol Conservador de Bienes Raíces.				
Tipo de Zonificación (1)	Rural	<input checked="" type="checkbox"/>	Urbana	<input type="checkbox"/>	Lugar Público colindante (1)	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordenadas de la Instalación	Coord. X	21° 0'14"S			Coord. Y	68° 47' 46"O			

Nota (1): Marcar con una "x" donde corresponda

Este formulario continúa al reverso