



Sr. Luis Knaak Quezada
Representante Legal
Alto Maipo SpA
Presente

Se ha solicitado a este Departamento de Medicina Legal, hacer una evaluación de 2 Informes realizados por distintas entidades, en relación a su validez científica, al procedimiento de medición del impacto ambiental y su efecto sobre los seres humanos, que causaría la instalación y explotación de una central hidroeléctrica en Alto Maipo.

I.- DOCUMENTOS TENIDOS A LA VISTA

Se tuvieron a la vista los siguientes informes:

- 1) "INFORME AGUAS DEL CAJÓN DEL MAIPO Y ALTO MAIPO" (17 págs.), firmado por el Dr. ANDREI TCHERNITCHIN VARLAMOV (En adelante, Dr. ATV)
- 2) "EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO Y MEDIOAMBIENTAL POR METALES EN AGUA ASOCIADO AL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO SPA. ABRIL 2016" (190 pág.,) firmado por Dra. Laura Börgel Aguilera y Cía. Ltda. (En adelante, Dra. LBA)

II.- ANTECEDENTES DE INTERÉS EN LOS INFORMES SOMETIDOS A ESTUDIO

- 1) INFORME TITULADO" INFORME AGUAS DEL CAJÓN DEL MAIPO Y ALTO MAIPO" . evacuado por el Dr. ATV

1. ANTECEDENTES:

La información del proyecto de Alto Maipo, cuyas obras ya se iniciaron e involucran la construcción de una larga y extensa red de túneles a través de cerros (Del) Alto Maipo, y el Río Colorado, PERMITE SUPONER la ruptura y desmembramiento de rocas CUYA SUPERFICIE, AL ESTAR EN CONTACTO CON AGUA, PUEDE ORIGINAR LIXIVIACIÓN¹ DE ELEMENTOS TÓXICOS. Para investigar este riesgo potencial de contaminación de aguas superficiales y napas, se ha procedido a realizar el presente ESTUDIO PRELIMINAR para

¹ La lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.



verificar –o descartar -la posible presencia de elementos tóxicos en aguas superficiales y profundas que puedan afectar la salud de quienes se expongan a (ellos).

2. MATERIAL Y MÉTODOS:

El día 24 de noviembre 19 (¿?) de 2015 se ha procedido a la obtención de muestras de agua, en diversos lugares del Alto Maipo, Cajón del Río Colorado y zona inferior del Cajón del Maipo. El agua era de **ORIGEN** de la **LLAVE DOMICILIARIA** localizada en el Centro Recreacional de Carabineros en Los Maitenes, de **POZO** utilizado para agua potable de la Comunidad Lomas de El Manzano, y de **FLUJOS DE AGUAS SUPERFICIALES** (georreferenciadas, con fecha y hora).

(La) muestra de agua (se acidificó) a pH >2 con ácido nítrico concentrado según protocolos del CENMA.

Todas las muestras de agua fueron debidamente selladas para asegurar su identificación e inviolabilidad, y fueron trasladadas al CENMA para los análisis correspondientes.

La **CONCENTRACIÓN DE METALES TOTALES** en la muestra de agua se cuantificó por lectura directa de la muestra acidificada en un **ESPECTRÓMETRO DE PLASMA INDUCTIVAMENTE ACOPLADO (ICP) CON DETECTOR ÓPTICO DE EMISIÓN**, el cual fue calibrado ..., según protocolo estandarizado, validado y acreditado en base al procedimiento 3120 del Manual de Métodos Estándares para Análisis de Aguas y Aguas Residuales (APHA, AWWA, WEF, 2012. Ed 22)². Se aplicaron controles de calidad analítica consistentes en análisis de muestras blanco, análisis de muestras en duplicado y análisis de muestras fortificadas. Todos los controles de calidad cumplieron los requisitos ... , correspondientes al procedimiento 3120 del Manual de Métodos Estándar es para Análisis de Aguas y Aguas Residuales (APHA, AWWA, WEF, 2012. Ed 22).

Las **CONCENTRACIONES DE METALES EN LAS SOLUCIONES RESULTANTES** de los protocolos anteriormente descritos fueron cuantificadas **MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE PLASMA INDUCTIVAMENTE ACOPLADO (ICP) CON DETECTOR ÓPTICO**, según protocolo USEPA 6010 .Se aplicaron controles de calidad analítica (idénticos a los ya mencionados, con iguales resultados)

² 3120 DETERMINACIÓN DE METALES POR ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN DE PLASMA. Método de plasma de acoplamiento inductivo (PAI). El citado protocolo s refiere sólo a técnica de calibración del instrumento y medición, no a la interpretación global de resultados.



RESULTADOS:

... el contenido de hierro **EN AGUA DEL AFLORAMIENTO Y DE UNA LAGUNA PEQUEÑA ("CHARCO" ...)** el hierro excede en un 5903 % y en un 5337 % la norma NCh409 y triplica lo autorizado para riego en la norma chilena NCh1333- El molibdeno en el afloramiento el (de?) agua excede en 20 % la norma de agua para riego NCh1333. Los niveles de manganeso exceden en 189 % y en 145 % la norma NCh409 para manganeso, y también exceden la norma de agua de riego. En el "charco" o laguna, el arsénico excede en un 5% la norma NCh409, y excede en 170 % la recomendación OMS para plomo en agua potable, y está en el límite máximo de lo admisible según recomendación de la OMS para cadmio.

En el Canal Aucayes, el hierro excede en un 2800 % y el manganeso excede en un 240 % la norma NCh409 de agua potable.

... según los pobladores de Maitenes, el agua del estero Aucayes , antiguamente era usado como potable y para riego. **ALGUNOS DÍAS (O SEMANAS) ANTES DE LA TOMA DE MUESTRAS, LOS POBLADORES INFORMARON QUE HUBO UN POSIBLE ACCIDENTE O UN VERTIDO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL, AL ESTERO AUCAYES³.** Hubo una demora importante en que a los habitantes no se les informó nada.... Recién el día que se tomaron las muestras se les comenzó a dispensar agua desde camiones aljibes. Esta demora puede afectar en forma grave la salud de personas vulnerables (embarazadas, niños pequeños).

El agua potable obtenida del recinto de Carabineros es de calidad menos deficiente, pero la norma NCh409 es sobrepasada tres veces (en un 207 %) **LO CUAL ES MUY GRAVE PARA LA SALUD**, y la norma para níquel sobrepasa la recomendación de la OMS para agua potable en un 31%. Esto significa que los filtros y/o otras precauciones tomadas no han sido suficientes o que las fuentes de obtención de dicha agua ya fueron alcanzadas por las napas contaminadas.

El agua potable obtenido de pozo en la Comunidad Lomas del Manzano **no demostró exceso de metales totales que sobrepasen las normas chilenas o las recomendaciones de la OMS.** Se sugiere repetir toma de muestras en 6 y 12 meses más para verificar que las **NAPAS CONTAMINADAS** no hayan alcanzado las napas que nutren dicho pozo.

³ El antecedente es impreciso, y por lo tanto no es posible evaluar su pertinencia en el análisis efectuado.



... las concentraciones de los diversos metales y metaloides solubles en las muestras estudiadas... son bastante similares a los que se encuentran en metales totales.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran presencia de altas concentraciones de elementos tóxicos **EN EL AGUA** cercano a las faenas de excavación de túneles del Proyecto Alto Maipo. Por el momento constituyen un serio riesgo para actividades recreativas o para las personas que habiten **EN LA ZONA DE INFLUENCIA**, y se debe considerar **EL RIESGO QUE LAS NAPAS CONTAMINADAS** continúen propagándose hacia zonas más bajas del Cajón, contaminando fuentes de agua potable y productos hortofrutícolas de la zona.

La presencia de altas concentraciones de estos minerales, **NO EXISTÍAN CON ANTERIORIDAD** (ver estudio de la Superintendencia de Aguas realizado antes de entregar la licitación a Aguas Andinas)

Para aquellos elementos que están en concentraciones sobre la norma **pero no tan altas⁴**, **SE PUEDE PROYECTAR UN AUMENTO CONTINUO DE SUS CONCENTRACIONES** en los próximos años, considerando que la lixiviación de algunos elementos como As, Pb y Ni es relativamente lenta, pero continua a menos que todos los escombros rocosos y roca molida se dispongan en un lugar seguro y sellado para evitar el paso de lixiviados a las napas, y que haya un sistema de extracción de los lixiviados y que asegure la ausencia de agua en el lugar donde se dispongan.

Firma **Dr. AMV.**

2) **INFORME TITULADO EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO Y MEDIOAMBIENTAL POR METALES EN AGUA ASOCIADO AL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO SPA , EVACUADO POR DRA. LBA.**

INTRODUCCIÓN

Se hace el presente análisis de riesgo toxicológico y ambiental, en relación a los análisis de agua cruda hechos en el ámbito del Cajón de Maipo, el 24 de noviembre de 2015 y la interpretación de los resultados de los estudios de CENMA asociados a las conclusiones establecidas en los documentos del Dr. A. T V. **entregados al Concejo Municipal de San José de Maipo y a los medios de prensa.**

⁴ "Pero no tan altas" no es una expresión cuantificable.



Para comparar los resultados del análisis puntual del 24 de noviembre 2015 a un total de 5 muestras analizadas por CENMA, ingresadas con fecha 25-11-2015, solicitud 6091, **SE APLICAN METODOLOGÍAS Y CRITERIOS ESTABLECIDOS POR ATSDR, OMS, FAO Y DATOS REGULATORIOS INTERNACIONALES Y NORMAS NACIONALES VIGENTES (OMS, NCH 409, DS 143, NCH 1333 Y DS 90).**

La metodología se centra en la **DESCRIPCIÓN DEL SITIO**, las **CONCENTRACIONES HISTÓRICAS DE METALES EN LOS DISTINTOS AFLUENTES DEL RIO MAIPO** vs. Los resultados aislados del muestreo del 24 de noviembre de 2015, a fin de concluir sobre el riesgo potencial de las aguas fluviales para las poblaciones locales.

La **DESCRIPCIÓN ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOCLIMÁTICAS QUE INFLUYEN EN LOS NIVELES DE METALES EN AGUA PARA PERIODOS DE OTOÑO-INVIERNO VERSUS PRIMAVERA-VERANO, TANTO EN LA MACRO ZONA DEL CAJÓN COMO EN 3 MICRO ZONAS (EL VOLCÁN, ALFALFAL Y LAS LAJAS) RELACIONADAS CON LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÚNELES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ALTO MAIPO SPA**, en adelante PHAM o el Proyecto

SE ANALIZARON LAS CONCENTRACIONES DE METALES EN AGUA CRUDA DE RÍOS A PARTIR DE LOS DATOS HISTÓRICOS ENTRE 1990 A 2015 (DGA) y se compararon con los resultados obtenidos por Dra. LAURA BORGEL A. y Cía.Ltda. **Estos datos se confrontaron con las referencias de calidad de agua para consumo humano de OMS, Norma Chilena 409 y Norma Chilena para aguas superficiales. Además, se compararon las técnicas de muestreo y manejo de muestras y los métodos analíticos.**

...DURANTE LA INVESTIGACIÓN SE CONSTATÓ LA PRESENCIA DE OTRAS FUENTES CONTAMINANTES APARTE DE LAS DE ORIGEN NATURAL, asociadas a la movilización de metales pesados ajenas a PHAM⁵, tales como actividades mineras.

El avance de los túneles de PHAM a **NOVIEMBRE DE 2015 ERA DEL 22%**, y en **FEBRERO DE 2016 NO ERA MAYOR AL 24%**.

DESCRIPCION DE LA MICROZONA Y SITUACION AL 24 NOV 2015

La Cordillera de los Andes,... donde se desarrolla el PHAM, es ... joven, (de) origen volcánico y tectónico que le da característica de constante metamorfismo (transformación de la roca).... el volcanismo está permanentemente (exteriorizando) metales pesados y

⁵ PHAM: Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo



nuevos elementos minerales, (magma: sílice, oxígeno, metales/metaloides [aluminio, flúor, manganeso, boro, plomo y hierro]) y otros metales [calcio, carbonato, azufre, estroncio, sodio, potasio]), y esto, junto a la tectónica⁶, la moviliza hacia el Océano Pacífico ... La roca volcánica (principal componente del Cajón del Maipo) es más propensa al deslizamiento en masa (por) inclemencias climáticas, (y) erosión de distintos orígenes...

Esta cordillera joven presenta en su relieve microcuencas que pueden o no confluir, conformando sitios de confinamiento natural. Algunas se interconectan llegando a cursos de ríos, pero no es lo más frecuente, limitándose los escurrimientos de aguas superficiales hacia los ríos. Para utilizar el recurso hídrico de dichas zonas, es efectuar interconexiones (túneles) de tipo antrópico, (como las que está efectuando el PHAM).

CONTAMINANTES DE INTERES⁷

(En el sector de)El Morado, se pudo identificar los siguientes compuestos en las rocas locales (metales y sales): principalmente sales de carbonatos, plomo, hierro, flúor, aluminio, boro y manganeso entre los más frecuentes, junto a sílices; por el contrario, los menos frecuentes son níquel, cromo, plata, zinc y cobre, todos los cuales son propios de la conformación geológica de la zona geográfica del Cajón del Maipo y su origen volcánico...

... los desplazamientos en masa propios de la zona asociados a los deshielos, (acumulan) material fino y de mediano tamaño en las riberas del Estero El Morado y además, se depositan en los márgenes constituyendo morrenas⁸, que por la erosión (se van desagregando) en el tiempo, y se movilizan por la dinámica del ambiente hacia los bordes de dicho estero (por gravedad), terminando como sedimentos en el lecho del río, de tal modo las fracciones más finas serán movilizadas a través de los cursos de agua.

En EL HUMEDAL de ciclo corto⁹, en su área central... "charco", que A LA FECHA DEL MUESTREO (PRESENTA) UNA IMPORTANTE REDUCCIÓN DE SU CANTIDAD DE AGUA,

⁶ Parte de la geología que trata de la estructura de la corteza terrestre.

⁷ Contaminantes de interés: aquellos que están definidos como peligrosos para la salud por organismos como OMS.

⁸ Las morrenas son los depósitos de materiales que transporta un glaciar. Proceden de la erosión que el glaciar provoca a su paso. Como la capacidad erosiva de los glaciares es muy alta, las morrenas se caracterizan por los materiales que la forman: cantos, rocas, arena, polvo, materiales de cualquier tamaño mezclados y sin señales de "redondeo" ya que el glaciar los lleva sin hacerlos rodar.

⁹ Los humedales, son áreas de terreno que se inundan temporalmente.



SE...IDENTIFICAN PRINCIPALMENTE COMPONENTES METÁLICOS DE ORIGEN NATURAL MUY SIMILARES A LA COMPOSICIÓN DE LAS ROCAS DE LA ZONA.

(Dicho) **HUMEDAL PERMITE EL DESARROLLO DE VEGETACIÓN SILVESTRE Y ALGUNAS GRAMÍNEAS QUE FACILITAN EL DESARROLLO DE ESPECIES SILVESTRES Y DOMÉSTICAS MANTENIENDO LOS CICLOS BIOLÓGICOS REPRODUCTIVOS**, manifestados en la presencia de crías de equinos e insectos en plena reproducción.

En el **ANÁLISIS** de las muestras, se utilizó la **ESPECTROMETRÍA INFRARROJA (IR)**

EN RESUMEN, SE PUEDE ESTABLECER QUE:

Los componentes de las rocas y suelos (fondo del humedal de ciclo corto) **PRESENTAN METALES Y SALES DE ORIGEN NATURAL...** (Ya sea) hacia los cursos de los ríos o confinados en el área de las microcuencas...

CONTAMINANTES DE INTERES EN MATRIZ AGUA

La interpretación de los hallazgos, se efectuó comparando los resultados obtenidos en las tomas de muestra (realizados por Dr. ATV y por Dra. LBA), con los registros de la DGA¹⁰, en cuanto a Parámetros Físico Químicos, Datos Mensuales, para los periodos de 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2015, de las concentraciones de los metales en las aguas de los siguientes ríos principales en la cuenca del Maipo: Olivares, Colorado, Volcán, Yeso y Maipo (lo que permitió apreciar sus fluctuaciones y tendencias)

Entre 1990 y 2015, **LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE METALES MÁS ALTOS** en las aguas de los ríos estudiados se presentan en el periodo de **OCTUBRE A MARZO** (primavera y verano), **COINCIDIENDO CON EL PERIODO DE DESHIELOS E INCREMENTO EN EL VOLUMEN DE CAUDALES** (lo cual se puede observar también en los registros de monitoreo de calidad de aguas, de la Dirección General de Aguas, del Ministerio de Obras Públicas, en el rubro dedicado a caudales).

Al contrario, **LAS CONCENTRACIONES MENORES DE METALES SE PRESENTAN ENTRE ABRIL-SEPTIEMBRE, O SEA, OTOÑO-INVIerno**. Ello lleva a asumir que **LOS INCREMENTOS DE LAS CONCENTRACIONES EN PRIMAVERA-VERANO SE DEBEN EN GRAN MEDIDA A CONDICIONES NATURALES** y se puede descartar una incidencia en tales niveles de actividades antropogénicas en la cuenca...

¹⁰ DGA: Dirección General de Aguas



Tales niveles de concentración se compararon con los valores de normas nacionales relativas a niveles de metales en aguas crudas fluviales para diferentes propósitos. En primer lugar y con el propósito de estimar una magnitud del **RIESGO POTENCIAL**, se compararon con la **NORMA NACIONAL PARA AGUA POTABLE¹¹**, con la **NORMA DE AGUA PARA USOS RECREACIONALES CON CONTACTO DIRECTO**, y con la **NORMA PARA AGUA DE RIEGO**. Para cada metal y periodo señalado se calculó el promedio de las tres concentraciones más altas (octubre a marzo).

Con la premisa y advertencia de que **EL ANÁLISIS ES DE AGUAS FLUVIALES NATURALES NO TRATADAS Y NO APTAS PARA CONSUMO HUMANO**, las tablas muestran una frecuente y permanente excedencia por sobre el valor de la norma de agua potable en el caso de **arsénico, plomo, hierro, manganeso, aluminio y boro**, y ocasionales excedencias en **cadmio, cromo, selenio y molibdeno**. Zinc, cobre y selenio en aguas de ríos están prácticamente siempre dentro de la norma de agua potable.

Tomando como referencia el riesgo relacionado con el arsénico, el valor de 0,05 mg/L en agua que OMS y Chile tenían como norma vigente hasta hace una década, y considerando que de los 16 promedios de arsénico que en el agua de ríos sobrepasan la norma chilena actual de 0,01 mg/l, sólo 7 sobrepasan el valor de 0,05, el cual actualmente está clasificado por la OMS como de riesgo moderado para agua de consumo humano por tiempo prolongado, lo que no aplica a este caso, pues estas aguas naturales o crudas no son de consumo humano.

EL RIESGO PARA LA SALUD POR CONTACTO RECREACIONAL DIRECTO ES CASI NULO PARA EL CASO DE ARSÉNICO, CADMIO, CROMO Y PLOMO, DADO QUE SOLO EN TRES SITUACIONES DE UN TOTAL DE 72 SE SOBREPASA MODERADAMENTE LA NORMA RESPECTIVA (DS 143).

Respecto a la norma para uso del agua en riego, el cromo, plomo, selenio y níquel están permanentemente dentro de la norma en las aguas de los ríos. Arsénico, cadmio, cobre y molibdeno en pocas ocasiones sobrepasan moderadamente la norma. En cambio, hierro, manganeso, aluminio y boro están casi en la totalidad de los promedios por encima de la norma y a menudo unas 10 a 15 veces por encima del valor límite permisible.

Las concentraciones permanentemente elevadas de varios de los metales durante los **VERANOS ENTRE 1990 Y 2015**, estarían indicando que **SE DEBEN A CAUSAS NATURALES**

¹¹ Agua potable: agua dulce sometida a procesos que permiten su uso sin restricción para beber y preparar alimentos.



ASOCIADAS A DESHIELOS, DESLAVES Y REMOCIONES EN MASA QUE OCURREN EN PENDIENTES ABRUPTAS, PROPIAS DE PRIMAVERA Y VERANO.

CONCLUSION

LAS CONCENTRACIONES HISTÓRICAS DE METALES EN LOS RÍOS (1990 - 2015), TANTO PREVIAS AL PROYECTO ALTO MAIPO Y COMO CON POSTERIORIDAD A SU INICIO, SE HAN MANTENIDO CONSTANTES, SIN VARIACIONES SIGNIFICATIVAS.

Las concentraciones elevadas de metales se dan principalmente para arsénico, plomo, hierro, manganeso, aluminio y boro. Hay ocasionales excedencias por sobre límites normativos en cadmio, cromo, y molibdeno. Zinc, cobre y selenio en aguas de ríos están prácticamente siempre dentro de la norma de agua potable. Este mismo comportamiento de frecuencia es lo que se observa en los estudios por espectroscopia IR de las rocas muestreadas en terreno, lo que permite reafirmar el origen natural de tales elementos y sin la participación antrópica.

EL RIESGO PARA LA SALUD POR CONTACTO RECREACIONAL DIRECTO CON LAS AGUAS FLUVIALES ES CASI NULO PARA EL CASO DE ARSÉNICO, CADMIO, CROMO Y PLOMO, DADO QUE SÓLO EN TRES SITUACIONES DE UN TOTAL DE 72 se sobrepasa moderadamente la norma respectiva (DS 143).

LOS RESULTADOS DEL MUESTREO DE AGUAS RURALES DEL PROGRAMA DE "ENTORNOS SALUDABLES DEL MINISTERIO DE SALUD" MUESTRAN LAS MAYORES CONCENTRACIONES PARA ARSÉNICO, HIERRO Y MANGANESO EN OCTUBRE A NOVIEMBRE, lo que es coincidente con el perfil de altas concentraciones estacionales en los ríos. Aun así, las concentraciones en los ríos fueron superiores a las de aguas rurales.

Las concentraciones de arsénico en los ríos fueron a menudo tres a cuatro veces más altas que las excedencias halladas en el agua rural para consumo humano.

Estas aguas rurales reflejan las características naturales asociadas a las rocas y su origen volcánico y no se relacionan con el PHAM.

Las aguas muestreadas aisladamente en las microzonas de El Volcán, Los Maitenes y Aucayes reflejan las características propias de aguas naturales o crudas, y que se relacionan con los fenómenos de deshielos, desplazamientos en masa, fenómenos de erosión, clima y a la dinámica de los metales en agua.



Las aguas muestreadas aisladamente tanto el 24 de noviembre 2015 como 28 y 29 enero 2016, en el sector habitacional de las Lomas del Manzano cumplen con los requerimientos de agua para consumo humano.

ROL DE LAS ESPECIES CENTINELAS COMO INDICADORES DE EXPOSICION AL RIESGO

Los animales son individuos más susceptibles o sensibles que el ser humano (a la exposición a contaminantes). (Por ello) los estudios toxicológicos para sustancias químicas, incluyendo metales, se realizan en especies animales...

...no es posible detectar a simple vista, en campo abierto, efectos de contaminación en la fauna del cajón del Maipo;...los animales se encuentran asintomáticos..., aparentemente sanos, reproduciéndose y sin señales de mortandades. Por ello, se puede concluir que las concentraciones de los metales en (la zona) se encuentran dentro de márgenes de seguridad.

IDENTIFICACION Y EVALUACION DE RUTAS DE EXPOSICIÓN HUMANA

LOS METALES PESADOS TRAZA EN AGUAS NATURALES TIENEN DIVERSOS ORIGENES Y PARA EL CASO ESPECÍFICO DE LA MACROZONA DEL CAJÓN DEL MAIPO, SE RELACIONAN CON UN ORIGEN NATURAL ASOCIADO A LA CONFORMACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA ROCA BASE Y SUS COMPONENTES DE METALES Y METALOIDES, SOMETIDOS A DESLIZAMIENTOS EN MASA, EFECTOS LOCALES DEL CLIMA Y EROSIÓN EN EL TIEMPO.

El aporte de arsénico, principalmente valencia V, y otros metales a las aguas superficiales del Cajon del Maipo **SON HISTÓRICOS Y, ESTÁ RELACIONADO CON SU ORIGEN GEOMORFOLÓGICO Y NO CON LAS ACTIVIDADES DEL PHAM, PUES PRECEDEN A ESTAS.**

La distribución (de metales pesados como) Arsénico en un acuífero y en el medio ambiente es multifactorial y depende de... factores químicos y físicos tanto del agua como del medio físico en el cual está confinada. Dentro de los factores dependientes del ambiente, destacan la permeabilidad de los suelos, el pH, el efecto redox de los diversos componentes del suelo, la materia orgánica, y la acción de bacterias y otros microorganismos.

Las interacciones entre (distintos metales pesados y otros minerales) modifican la sorción y la especiación del arsénico en los acuíferos. La presencia de hierro favorece, en ambiente oxidante, la separación del arsénico del manganeso y la unión del hierro al arsénico, liberándose así el manganeso al agua, aumentando su biodisponibilidad. Y, viceversa, si disminuye el hierro, y/o el ambiente es reductor. Esto explica la dinámica histórica



observada (1990 - 2015) entre los metales y metaloides presentes en el monitoreo de aguas de DGA.

El aumento de las temperaturas ambientales asociado a la disminución de las precipitaciones favorece el aumento de la salinidad. La profundidad del acuífero, mientras más superficial se encuentre, más asociación con niveles elevados de arsénico si se compara con acuíferos con pozos más profundos.

Como ya se estableció, la dinámica del arsénico en agua superficial es multifactorial...pH... suelos arcillosos en el lecho, materia orgánica proveniente de las heces de animales, y anaerobiosis leve por baja tasa de eutrofización. Esto significa que, dependiendo del factor dominante, es posible encontrar altas o bajas concentraciones de arsénico en el agua, para distintos periodos de la evolución de (un) acuífero.

Estos alcances deben ser interpretados en un contexto mayor, correspondiente a los fenómenos de dilución y concentración, asociados a los caudales cambiantes según esquemas estacionales y periodos de sequía.

CARACTERISTICAS DEL MUESTREO REALIZADO POR Dr. ATV

(Corresponde a) muestras únicas para distintos tipos de uso de aguas, de tal modo las muestras: CMA-259 (Alto Volcán C. Morado), CMA-260 (Alto Volcán C. Morado) y CMA-261 (Los Maitenes C Colorado), no pueden ser comparadas con la NCh 409 y OMS, que corresponden a parámetros de calidad de agua potable, dado que dichas muestras corresponde a aguas superficiales (NO TRATADAS).

III.- ANTECEDENTES DE INTERES EN LA LITERATURA ESPECIALIZADA

1) NORMAS CHILENAS VIGENTES SOBRE ESTUDIOS DE AGUAS

- **Decreto 40, de 2013, del MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE :APRUEBA REGLAMENTO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

En su Art. 2, define términos como EMISIÓN e IMPACTO AMBIENTAL y PROYECTOS DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

En su Art. 5, señala lo siguiente:

...la exposición deberá considerar la cantidad, composición, concentración, peligrosidad, frecuencia y duración de las emisiones y efluentes del proyecto o actividad, así como la cantidad, composición, concentración, peligrosidad,



frecuencia, duración y lugar de manejo de los residuos. Asimismo, deberán considerarse los efectos que generen sobre la población la combinación y/o interacción conocida de los contaminantes del proyecto o actividad.

Artículo 6.-define " Efecto adverso significativo sobre recursos naturales renovables".
Se entenderá que el proyecto o actividad genera un efecto adverso significativo sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire **SI, COMO CONSECUENCIA DE LA EXTRACCIÓN DE ESTOS RECURSOS; EL EMPLAZAMIENTO DE SUS PARTES, OBRAS O ACCIONES; O SUS EMISIONES, EFLUENTES O RESIDUOS, SE AFECTA LA PERMANENCIA DEL RECURSO, ASOCIADA A SU DISPONIBILIDAD, UTILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO RACIONAL FUTURO; SE ALTERA LA CAPACIDAD DE REGENERACIÓN O RENOVACIÓN DEL RECURSO; O BIEN, SE ALTERAN LAS CONDICIONES QUE HACEN POSIBLE LA PRESENCIA Y DESARROLLO DE LAS ESPECIES Y ECOSISTEMAS.**

c) La **MAGNITUD Y DURACIÓN DEL IMPACTO DEL PROYECTO O ACTIVIDAD SOBRE EL SUELO, AGUA O AIRE EN RELACIÓN CON LA CONDICIÓN DE LÍNEA DE BASE.**

d) La superación de los valores de las concentraciones establecidos en las normas secundarias de calidad ambiental vigentes o el aumento o disminución significativos, según corresponda, de la concentración por sobre los límites establecidos en éstas. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las normas vigentes en los Estados que se señalan en el artículo 11 del presente Reglamento.

Las normas de emisión vigentes serán consideradas para efectos de predecir los impactos sobre los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire de acuerdo a los límites establecidos en ellas. A falta de tales normas, se utilizarán como referencia las vigentes en los Estados señalados en el Art. 11 del Reglamento.

Para lo anterior, se deberá considerar la cantidad, composición, concentración, peligrosidad, frecuencia y duración de las emisiones y efluentes del proyecto o actividad, así como la cantidad, composición, concentración, peligrosidad, frecuencia, duración y lugar de manejo de productos químicos, residuos u otras sustancias que puedan afectar los recursos naturales renovables.

La evaluación de los efectos sobre los recursos naturales renovables deberá considerar la capacidad de dilución, dispersión, autodepuración, asimilación y regeneración de dichos recursos en el área de influencia del proyecto o actividad, así



como los efectos que genere la combinación y/o interacción conocida de los contaminantes del proyecto o actividad.

Artículo 11.- Normas de referencia.

Las normas de calidad ambiental y de emisión que se utilizarán como referencia para los efectos de evaluar si se genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b), ambas del artículo 11 de la Ley, serán aquellas vigentes en los siguientes Estados:

- RF de Alemania, República Argentina, Australia, RF de Brasil, Canadá, España, EU Mexicanos, EUA, Nueva Zelandia, R. de los Países Bajos, Rep. Italiana, Japón, R de Suecia, Confederación Suiza.

Se priorizará aquel Estado que posea similitud en sus componentes ambientales, con la situación nacional y/o local...

TITULO III

DE LOS CONTENIDOS DE LOS ESTUDIOS Y DECLARACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

c.6. La descripción de la fase de operación : partes, obras y acciones asociadas a esta fase, la fecha estimada de inicio y término, cronograma, mano de obra, actividades de conservación y mantención, forma de provisión de suministros básicos, cuantificación y la forma de manejo de los productos generados, su transporte, ubicación y cantidad de recursos naturales renovables a extraer o explotar por el proyecto o actividad para satisfacer sus necesidades; LAS EMISIONES DEL PROYECTO O ACTIVIDAD Y LAS FORMAS DE ABATIMIENTO Y CONTROL CONTEMPLADAS; Y LA CANTIDAD Y MANEJO DE RESIDUOS, productos químicos y otras sustancias que puedan afectar el medio ambiente; la restauración de la geofoma, vegetación y cualquier otro componente ambiental que haya sido afectado durante la ejecución del proyecto o actividad; prevenir futuras emisiones desde la ubicación del proyecto o actividad, para evitar la afectación del ecosistema incluido el aire, suelo y agua; y la mantención, conservación y supervisión que sean necesarias.

- Norma NCH 409/1, de 2005

Define que en nuestro país la autoridad fiscalizadora en materia de Legislación Sanitaria y sus normas técnicas es la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Dicha autoridad estableció, a partir de 2006, qué contaminantes microbiológicos, químicos y radiactivos deben medirse en el agua para dichos contaminantes, y cuáles son los niveles máximos permitidos.

- Norma NCH 409/2, de 2006



Indica cómo debe realizarse a tal efecto, el muestreo de agua potable.

2) **ESTUDIOS DE CONTAMINACION POTENCIAL DE LAS AGUAS**^{12,13,14,15,16}

En la normativa revisada por este Departamento, **APARTE DE LAS NORMAS CHILENAS, SE CONSIDERARON LAS DE VARIOS PAÍSES MENCIONADOS EN EL ART. 11 DEL DECRETO 40, DE 2013**, que fija los que deberían tomarse en cuenta a falta de normas de calidad ambiental y de emisión en la Norma Chilena.

En general, todos los cuerpos legales ya mencionados, señalan que, para realizar un estudio de contaminación potencial de aguas, es indispensable establecer lo siguiente:

- i. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS¹⁷ GENERALES del lugar
- ii. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS¹⁸
- iii. ECOSISTEMAS DEPENDIENTES
- iv. CALIDAD QUÍMICA DE REFERENCIA
- v. EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO

¹² Fernández Ruiz, L. Las AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PLANIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA/ ed.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2012

¹³ METODOLOGÍA ATSDR /CDC Atlanta Octubre/2003. La ATSDR es la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés).

¹⁴ Foster, S. Hirata R. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes / OPS-CEPIS, 1988 (OPS es la Organización Panamericana de la Salud. El artículo se refiere a un estudio sobre aguas realizado en el Gran Sao Paulo).

¹⁵ IMPACTS OF URBANIZATION ON GROUNDWATER. S.S.D. Foster .WHO-PAHO Groundwater advisor for Latin America & Caribbean, Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS),Chairman'Commission on Hydrogeology for Developing Nations'International Association of Hydrogeologists, 1990.

¹⁶ Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIAL. PLANES HIDROLOGICOS DE CUENCA 2009-2015.

¹⁷ Características geológicas: tipo de terreno, formaciones geológicas, composición geológica, entre otros.

¹⁸ Características hidrogeológicas: es el régimen de las aguas superficiales y subterráneas. El análisis del régimen de aguas subterráneas debe incluir un estudio de las capas freáticas, pozos, y manantiales, por lo que **SE NECESITA UN ESTUDIO GEOLÓGICO DE LA LOCALIZACIÓN DE MATERIALES PERMEABLES E IMPERMEABLES, DURANTE UN CICLO CLIMÁTICO COMPLETO, MEDICIÓN DE NIVELES FREÁTICOS Y CAUDALES DE POZOS Y MANANTIALES, Y EL ESTUDIO DE LA PLUVIOMETRÍA, ESCORRENTÍA, EVAPOTRANSPIRACIÓN Y BALANCE HÍDRICO.**



- vi. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS DE CONTAMINANTES
- vii. USO DEL SUELO
- viii. FUENTES SIGNIFICATIVAS DE CONTAMINACIÓN
- ix. VULNERABILIDAD FRENTE A LA CONTAMINACIÓN.

CALIDAD QUÍMICA DE REFERENCIA: Deben utilizarse dos indicadores para la evaluación del estado químico y para la determinación de tendencias de contaminantes

- i. Los **NIVELES BÁSICOS**(concentración de sustancias o valores de parámetros físico-químicos que se produzcan naturalmente y como resultado de actividades humanas para las que hay que determinar tendencias significativas y sostenidas al aumento),
- ii. Los **NIVELES DE REFERENCIA**. (concentraciones de sustancias, o valores de parámetros en las condiciones menos antropizadas posibles, es decir, más parecidos a las condiciones naturales)
Para ambos, se determinan los valores máximo, medio, mínimo, mediana y varios percentiles de cada parámetro.

3) **METODOLOGÍA ATSDR PARA INVESTIGACIONES DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS PELIGROSAS.**¹⁹

La misión de la ATSDR es buscar evidencias científicas, que permitan tomar acciones de salud pública y proporcionar información de salud confiable, para prevenir exposiciones nocivas y enfermedades relacionadas a sustancias tóxicas. A través de sus programas de vigilancia, registros, estudios de salud, educación de salud ambiental e investigación aplicada de sustancias específicas, la ATSDR interactúa con otras agencias gubernamentales, para proteger la salud pública.²⁰

Una de las acciones de la ATSDR, son las **EVALUACIONES DE SALUD PÚBLICA**. Éstas consisten en revisar la información disponible sobre sustancias peligrosas presentes en un sitio dado y evaluar el riesgo de daño por exposición a dichas sustancias.

Las Evaluaciones de Salud Pública según la norma ATSDR, toman en consideración:

- i. Los **NIVELES (O "CONCENTRACIONES") DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN EL LUGAR;**

¹⁹ METODOLOGÍA ATSDR /CDC Atlanta Octubre/2003. La ATSDR es la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés).

²⁰ <https://www.atsdr.cdc.gov/es/>



- ii. Las **"RUTAS DE EXPOSICIÓN"** (aire, agua de bebida o recreacional, desechos que se ingieren o que entran en contacto con los alimentos);
- iii. La **"TOXICIDAD"** de los contaminantes);
- iv. La **DISTANCIA** de lugares de trabajo o residencias a los lugares contaminados
- v. **OTROS PELIGROS** tales como edificios no seguros, y otras amenazas físicas.

Para lo anterior, se consultan tres fuentes de información primarias:

3a- **DATOS DEL MEDIO AMBIENTE** (información sobre los contaminantes y rutas de exposición en el lugar)

3b- **DATOS DE SALUD** (tasas de enfermedad, causas de muerte en la comunidad, comparados con las tasas regionales y nacionales;

3c- **PREOCUPACIONES DE LA COMUNIDAD**, sobre cómo el sitio impacta su salud y calidad de vida.

El resultado de dichas evaluaciones, permiten decidir qué acciones de salud pública deben ser llevadas a cabo.

Otra de las acciones que lleva a cabo la ATDSR, son las **EVALUACIONES DE EXPOSICIÓN**, que son modelos de exposiciones humanas a sustancias peligrosas, presentes en el medio ambiente, tanto pasadas, como presentes o futuras, actuales y posibles.

En ese sentido, se plantean **tres maneras principales de recopilar dicha información**, al efectuar una Investigación de Exposición:

- i. Las **PRUEBAS BIOMÉDICAS** (por ejemplo, muestras de orina o de sangre)
- ii. Las **PRUEBAS DEL MEDIO AMBIENTE** (para contaminación del suelo, agua o aire)
- iii. Los **ANÁLISIS DE RECONSTRUCCIÓN DE EXPOSICIÓN-DOSIS** usan la información de muestreo del medio ambiente y modelos de computadoras (ordenadores) para calcular los niveles de contaminante a los cuales las personas han sido o puedan ser expuestas en el pasado o en el futuro, respectivamente.

Las investigaciones realizadas siguiendo el modelo antes descrito, **DEBEN** ser realizadas por **EQUIPOS MULTIDISCIPLINARIOS DE CIENTÍFICOS, ESPECIALIZADOS EN MUESTRO DEL MEDIO AMBIENTE, ANÁLISIS POR COMPUTADORA (ORDENADOR), SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, EPIDEMIOLOGÍA, TOXICOLOGÍA Y MEDICINA.**

3 d- METODOLOGÍA ATSDR /CDC ATLANTA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE SITIOS CONTAMINADOS.

La evaluación de la exposición en o cerca de un sitio contaminado puede ser necesaria por distintas razones:



- Garantizar el cumplimiento de regulaciones
- Responder a las preocupaciones de la comunidad
- Desarrollar investigaciones epidemiológicas.

Antes de llevar a cabo cualquier investigación, deben tenerse en cuenta varios criterios y definiciones:

3 d 1.-EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN tanto la medición de las exposiciones o concentraciones reales de contaminantes, como el cálculo, la estimación y la elaboración de modelos de las exposiciones sobre la base de los datos existentes.

3 d 2.- El SITIO CONTAMINADO se define como "un sitio de disposición (de cualquier tipo) de residuos, ya mediante la colocación, ya mediante el entierro de los residuos".

3 d 3.- La POBLACIÓN EN RIESGO incluye a los trabajadores del sitio, la población residente **EN EL SITIO O MUY CERCA DE ÉL** y la población futura si el sitio va a ser usado para otros propósitos (Las distancias entre la población y el sitio están establecidas).

3 d 4.- Evaluación de exposición a sustancias potencialmente peligrosas liberadas por sitios contaminados, **SE REQUIERE ASESORÍA DE EXPERTOS ADECUADOS, COMO INGENIEROS, GEÓLOGOS, BIÓLOGOS, TOXICÓLOGOS, AMBIENTALISTAS, EPIDEMIÓLOGOS Y PROFESIONALES DE LA SALUD.** Es importante tener conciencia que **la sola presencia de una fuente contaminante no basta para producir daño a la salud.**

3 d 5.- DETERMINACIÓN DE UNA RUTA DE EXPOSICIÓN COMPLETA; ES DECIR, UNA FUENTE, MEDIOS AMBIENTALES Y MECANISMOS DE TRANSPORTE, UN PUNTO DE EXPOSICIÓN, UNA RUTA DE EXPOSICIÓN Y UNA POBLACIÓN RECEPTORA

3 d 6.- Establecimiento de **CRITERIOS E INDICADORES** para llevar a cabo la medición y la estimación de la exposición en cualquier situación, los que deben **SER NORMALIZADOS (estandarizados)**, para facilitar la comparación entre sitios y entre estudios en diferentes sitios.

3 d 7.- Enfrentar el estudio teniendo presente la eventual **ESCASEZ DE INFORMACIÓN CUANTITATIVA SOBRE EXPOSICIÓN, AL IGUAL QUE LA DEBILIDAD**



DE LOS MÉTODOS USADOS PARA EVALUARLA. La optimización de los datos podría ayudar a los gobiernos y a la industria de manejo de residuos a optimizar sus prácticas, a prevenir los impactos en la salud y a mejorar la comunicación de riesgos.

3 e.- PASOS HACIA UNA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

3 e 1.- RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN disponible

3 e 2.- Realización de una **CARACTERIZACIÓN DEL SITIO**, a partir de toda la Información disponible (naturaleza del sitio y sus alrededores, revisión de los contaminantes potencialmente preocupantes, identificación de las rutas de migración o transporte hasta el punto de liberación.

3 e 3.- Definición de Preguntas esenciales :

- Uso actual del sitio
- Naturaleza de los residuos en el sitio contaminado
- ¿Cuenta el sitio con estudios de ingeniería o no?
- ¿Es el sitio accesible o inaccesible para el público general?
- ¿Emanan del sitio sustancias que generen preocupación?
- ¿Existen otras fuentes de exposición cerca del sitio?

3 e 4.- Caracterización de los **POTENCIALES AFECTADOS**:

- ¿Cuál es el tamaño y la composición de la población en riesgo?
- ¿Cuáles son las características de la población más expuesta?

3 e 5.- Identificación de las **RUTAS DE EXPOSICIÓN**; es decir, aquellas vías que permiten que la población humana se vea expuesta:

- ¿Qué recursos hídricos existen en la zona? (aguas superficiales o subterráneas)
- ¿Qué uso se hace de ellas? (consumo humano o animal, regadío)
- ¿Cómo se comportan los vientos en la zona? ¿Cómo contribuirían a la dispersión de las sustancias peligrosas a través del aire? ¿Cuál sería su alcance?

3 e 6.- Determinación de la **CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES** a partir de los datos disponibles, o a través de muestreos, en el suelo, agua (para uso doméstico o recreativo), aire (dentro y fuera de las viviendas), y alimentos dentro de los límites del sitio o en el punto de exposición:

- ¿Cuáles son las concentraciones máximas? ¿En qué puntos se encontraron?
- Los niveles, ¿superan el límite permitido o la norma aplicable?



3 e 7.- ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A PARTIR DE LOS DATOS DISPONIBLES SOBRE CONCENTRACIONES, MECANISMOS DE INGESTIÓN Y POBLACIÓN EN RIESGO.

3 f.- CARACTERIZACIÓN DEL SITIO Y DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES.

Se deben incluir los siguientes datos:

3 f 1.-Sobre el SITIO contaminado:

- Naturaleza y calidad de los residuos depositados
- Construcción del sitio;
- Controles naturales y de ingeniería (sellados, cubiertas superficiales, sistemas de recolección de gases);
- Datos de monitoreo en el sitio y en los alrededores;
- Presencia y profundidad del área contaminada.

3 f 2.- Actividades HUMANAS en el sitio contaminado y vecinas:

- Trabajadores en el sitio;
- Residencias con o sin jardines (o sótanos);
- Escuelas o salas cuna, áreas de juego para niños;
- Establecimientos de salud;
- Espacios abiertos para uso público;
- Áreas comerciales, y
- Áreas industriales (señalar los tipos y las posibles emisiones).

3 f 3.- Actividades AGRÍCOLAS en el sitio y vecindad:

- Áreas de cultivo y/o crianza de animales para consumo personal;
- Áreas de cultivo con propósitos comerciales;
- Áreas donde los animales pueden ingerir vegetación (por ejemplo, hierba) o donde el suelo puede estar expuesto a la contaminación (por ejemplo, polvo).

3 f 4.- PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS vecinos alrededor del sitio. Si se conoce la dirección del flujo de las aguas subterráneas, es necesario identificar los puntos de extracción que están en una pendiente hidráulica descendente. En cada punto de extracción, señalar lo siguiente:

- El estrato del que se extrae el agua;
- La tasa de extracción (alta o baja);
- El uso del agua (público, privado),



- Riego, industria, refrigeración, industria de alimentos
- Calidad y disposición de aguas residuales.

3 f 5.- LA GEOLOGÍA, LA HIDROGEOLOGÍA Y LA HIDROLOGÍA DEL SITIO, lo que debe incluir:

- Naturaleza de la geología de los alrededores: método de flujo y permeabilidad (alta o baja);
- Profundidad de las aguas subterráneas;
- Dirección de las aguas subterráneas;
- Continuidad entre las aguas subterráneas y las corrientes de aguas superficiales.

3 f 6.- CORRIENTES DE AGUAS SUPERFICIALES Y PUNTOS DE EXTRACCIÓN hasta dos kilómetros aguas abajo del sitio:

- Tasa de extracción;
- Uso de las aguas superficiales (, pesca, natación, piscicultura);
- Usos del agua extraída (público, privado, riego, industria, refrigeración)
- Calidad del agua superficial.

3 g.- Los REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE UN INFORME DE CARACTERIZACIÓN DEL SITIO son:

Información sobre los controles naturales y de ingeniería, tipos de residuos o emisiones y rutas potenciales hacia la población local. Las fuentes de información disponibles incluyen informes geológicos e hidrogeológicos, datos de monitoreo del aire, agua y suelo, informes históricos del sitio, organizaciones comunales y autoridades locales y regionales.

3 g 1.- CONTAMINANTES QUE GENERAN PREOCUPACIÓN Y QUE DEBEN INVESTIGARSE

- Metales;
- Hidrocarburos;
- Bifenilos policlorados;
- Plaguicidas;
- Metano;
- Dioxinas;
- Asbesto;
- Productos farmacéuticos, y



- Sustancias patógenas²¹.

Estas sustancias se consideran contaminantes prioritarios debido a su toxicidad, persistencia ambiental y movilidad, pero no son excluyentes de otros contaminantes. También deben considerarse otros peligros, como la bioacumulación y la explosividad.

3 g 2.- ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Esta es una parte esencial de la investigación de problemas potenciales, por lo que debe buscarse asesoría adecuada de expertos:

- Usar la información de fuentes fácilmente disponibles, si las hay;
- Si no la hay o está desactualizada, deberán tomarse nuevas medidas;
- Con frecuencia es necesario realizar estudios de la estructura geológica.

3 g 3.- CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

La búsqueda de receptores potenciales, por lo general **DEBE CONSIDERAR UN RADIO DE UNO A DOS KILÓMETROS A LA REDONDA**. Sin embargo, algunos medios (aire, agua) pueden brindar una ruta de exposición indirecta a mayor distancia.

La información necesaria debe incluir:

- Ubicación geográfica de la población y su distancia al sitio contaminado;
- Datos demográficos básicos: grupos de edad, hombres y mujeres;
- Patrones de trabajo de la población local, áreas industriales y rutas frecuentes para ir al trabajo;
- Ubicación de escuelas y otras instituciones educativas, hospitales y edificios con alto número de residentes o usuarios;
- Ubicación de instalaciones de recreo y patrones de uso;
- Presencia y proximidad de grupos potencialmente sensibles, como niños y ancianos, personas con enfermedades prolongadas y discapacitados;
- Comportamiento de la población respecto al consumo de productos locales.

3 g 4.- ESTABLECIMIENTO DE UNA RUTA DE EXPOSICIÓN COMPLETA

Las posibles rutas de exposición, son:

- Ruta por inhalación
- Ruta por ingestión
- Ruta dérmica (contacto directo)

²¹ Se denomina patógeno a todo agente biológico externo que se aloja en un ente biológico determinado, dañando su anatomía o fisiología. A este ente biológico que aloja a un agente patógeno se lo denomina huésped, en cuanto es quien recibe al ente patógeno y lo alberga en su cuerpo.



3 g 5.- ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Los datos ya mencionados, más los de caracterización de la población permitirán construir una matriz de rutas y medios. La concentración de sustancias identificadas en los medios de contacto relevantes puede combinarse con la información sobre el ingreso para hacer una estimación general de la exposición.

Se procede entonces a comparar las exposiciones estimadas para las rutas especificadas con las guías o normas disponibles. Debe buscarse la asesoría de expertos para evaluar el impacto potencial de las exposiciones estimadas en la población. Pueden seguir a esta acción, evaluaciones de exposición y vigilancias de salud continuas

3 g 6.- INVESTIGACIONES EPIDEMIOLÓGICAS

Se recomienda la realización de investigaciones epidemiológicas futuras

- cuando la caracterización tanto de sitios y poblaciones como de rutas de exposición, el monitoreo ambiental o las estimaciones de exposición indiquen la probabilidad de que exista una ruta de exposición completa (fuente-ruta-receptor).

- si se ha producido un incremento significativo en el número reportado de casos con efectos de salud relevantes.

- Se dispone de una red de eventos centinela cerca del sitio de disposición de residuos para

3 g 7.- MANTENER LA VIGILANCIA EN LA POBLACIÓN DIANA²² y advertir cuándo repetir el análisis de muestras o la toma de otras medidas.

4) INTERPRETACION DE RESULTADOS

Los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre²³; también pueden liberarse por las actividades humanas, y llegar a contaminar el aire, agua superficial, subterránea, otros ambientes acuáticos y suelo.

Las **fuentes antropogénicas más importantes son la extracción de minerales**, las prácticas agrícolas, la fabricación de plásticos, recubrimientos anticorrosivos, alimentos,

²² Población diana: población en estudio.

²³ Reyes-Navarrete MG y cols. METALES PESADOS: IMPORTANCIA Y ANALISIS. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II, Durango, Dgo., 34200.



manufactura de plaguicidas, baterías, soldaduras, pigmentos, producción de acero, curtidoras de piel, entre otras.

La presencia de algunos metales y/o metaloides en el agua **PUEDE OCURRIR DE FORMA NATURAL, PRINCIPALMENTE POR DILUCIÓN DE MINERALES Y EROSIÓN, TAL ES EL CASO DEL ARSÉNICO**, el cual se distribuye ampliamente en diversas regiones en países como Bangladesh, Bengala, La India, Irak y Tailandia; en América Latina se ha reportado presencia de arsénico de forma natural en regiones de Argentina, **CHILE**, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia²⁴.

El entendimiento de cómo la actividad humana en la superficie de la tierra, modifica los mecanismos de recarga de las masas de agua superficiales y subterráneas, y el diagnóstico de tales cambios, son importantes para la determinación del riesgo de contaminación de las mismas.²⁵

5) **ACTIVIDADES ANTROPOGENICAS PRODUCTORAS DE AGENTES CONTAMINANTES, EXISTENTES EN EL CAJÓN DEL MAIPO.**

En 2013, SERNAGEOMIN publicó un Atlas de Faenas Mineras de la Región Metropolitana, en el cual se incluía un catastro de 29 explotaciones y exploraciones mineras, ubicadas en el Cajón del Maipo.²⁶

6) **ÍNDICES DE INTEGRIDAD BIÓTICA**²⁷

La integridad biótica se define como la capacidad de soportar y mantener una comunidad de organismos equilibrada, integrada y adaptativa, con una composición específica, diversidad y organización funcional comparable al del hábitat natural de una región. Por ende, entendemos que la integridad biótica es una cualidad de los medios naturales en los

²⁴ Castro, M. Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. International Congress: Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America. México, 2006.

²⁵ Foster S, Hirata R. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes. / OPS-CEPIS, 1988.

²⁶ Atlas de Faenas Mineras Regiones de Valparaíso, Del Libertador General Bernardo O' Higgins y Metropolitana de Santiago Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas y Estadísticas de Faenas Mineras de Chile N° 9: 177 p. Santiago año 2013.

²⁷ GOBIERNO DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. DPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE REC. HÍDRICOS. REALIZADO POR: CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CENMA). SANTIAGO, JULIO 2010.



que su composición, estructura y función no han sido alteradas por las actividades humanas.

Las especies indicadoras son aquellos organismos (o restos de los mismos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente. Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies. A cada especie o población le corresponden determinados límites de estas condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos).²⁸

IV.- DISCUSION MEDICOLEGAL

1) ANALISIS DEL ENFOQUE GLOBAL DEL PROBLEMA

De acuerdo con los antecedentes recabados en la literatura especializada, para realizar un estudio que permita verificar o descartar la presencia de elementos tóxicos en aguas superficiales y profundas que puedan afectar la salud de personas expuestas, es indispensable identificar el o los sitios donde el contaminante ingresa a las aguas; individualizar la o las fuentes de contaminación, verificar si se trata de una contaminación natural o antrópica, estudiar cómo se propaga la sustancia en el medio que se estudia, establecer hasta dónde puede llegar la contaminación en determinadas circunstancias, e identificar los lugares en que el contaminante podría hacer contacto con el ser humano u otra especie, y la vía de ingreso del agente tóxico al organismo (cutáneo-mucosa, inhalatoria, digestiva).

Los antecedentes de la literatura, coinciden en que habitualmente, la contaminación de las aguas se debe a múltiples fuentes, y rara vez a una sola. Por otra parte, también señalan que, la naturaleza de ciertas zonas geográficas, posibilita que exista mayor o menor contaminación ambiental, a partir de los elementos (minerales u otros) que las componen.

- El informe evacuado por el investigador Dr. ATV, parte de una premisa reduccionista puesto que asume, específicamente que, la supuesta contaminación denunciada sólo puede provenir de una fuente única, y que ésta es de origen antrópico. Dicha afirmación, a priori, sesga su posterior búsqueda de la presencia o ausencia de tóxicos, atribuyéndolos sólo a las obras ejecutadas por PHAM, sin tratar de identificar o descartar otras fuentes.

²⁸ Wilhm, J. L.. Biological indicators of pollution, en: B. A. Whitton (Ed.). River Ecology. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 1975.



A la vez, da por sentado que, en la eventualidad de existir una fuente emisora de tóxicos, ella puede ser permanente, sin considerar la temporalidad de las obras humanas, las que, al ser finalizadas dejarán de emitir, por término de las mismas.

- La Dra. LBA, por su parte, efectúa un estudio destinado a pesquisar el posible origen de los contaminantes y su comportamiento en un determinado ecosistema, dada la geomorfología del área.

Para evaluar el comportamiento de los cursos de agua, se deben considerar tanto las variaciones estacionales, como los fenómenos asociados a años secos y húmedos, así como aquellos que podrían estar relacionados con el cambio climático y el calentamiento global. Las distintas reglamentaciones y normas vigentes consultadas, señalan que, se deben estudiar los valores de a lo menos 5 años, y algunos estudios requieren hasta de 50 años²⁹.

- El estudio realizado por el Dr. ATV, al considerar una sola toma de muestra, sin contra-muestras posteriores, adolece de proyección en lo temporal, por cuanto omite la evaluación del comportamiento histórico de los índices a los que se refiere.
- El estudio de la Dra. LBA, considera variables históricas de distintas fuentes, entre 1990 y 2015: Dirección general de Aguas y Ministerio de Salud, para establecer el comportamiento estacional de las aguas.

Para que los datos sean comparables, tanto el muestreo como el análisis y la interpretación, deben realizarse mediante técnicas y datos estandarizados:-

- El informe evacuado por el DR. ATV, realiza estimaciones sobre medidas que no son comparables, como por ejemplo aguas de pozo o de un charco, respecto de niveles para agua potable. NO es aceptable contrastar los niveles de agua no potable o no apta para consumo humano, con la NCH 409. Al señalar "Se aplicaron controles de calidad analítica", se refiere a un procedimiento para validar la MEDICIÓN, pero no a la comparación entre muestras.
- El informe de Dra. LBA, muestra mediciones que son comparables entre sí (Los resultados obtenidos, se confrontaron con las referencias de calidad de agua para

²⁹ Fernández Ruiz, L. Las AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PLANIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA/ ed.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2012



consumo humano de OMS, Norma Chilena 409 y Norma Chilena para aguas superficiales)

Si una investigación sobre contaminantes, pretende deslindar responsabilidades en el aporte de carga en suspensión de material particulado en el cauce de los ríos de la cuenca del Maipo, **debe existir una trazabilidad y las muestras deben estar sujetas a cadena de custodia objetivable, desde su toma hasta su procesamiento final.**

- El informe del Dr. ATV, señala que se tomaron muestras en distintos puntos georreferenciados. "Todas las muestras de agua fueron debidamente selladas para asegurar su identificación e inviolabilidad, y fueron trasladadas al CENMA para los análisis correspondientes." Las muestras fueron ingresadas al CENMA por Doña MACARENA SATT, quien no está individualizada en los documentos tenidos a la vista. No se especifica en qué condiciones se conservaron y trasladaron las muestras desde el lugar de toma de muestra al CENMA. Por otra parte, en los informes de dicha entidad, se señala: "La responsabilidad del Laboratorio de Química Ambiental, (LQA) del CENMA, se restringe a la prestación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y/o muestreo medioambiental, convenidos con el cliente... El LQA no se responsabiliza por las condiciones de preservación de las muestras tomadas por el cliente."

- El informe de Dra. LBA, señala las condiciones **específicas y comprobables** de toma de muestra, traslado, conservación, ingreso al laboratorio y análisis.

2) CUADRO COMPARATIVO QUE PERMITE CONTRASTAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS PARA REALIZAR INFORMES DE RIESGO TOXICOLÓGICO MEDIOAMBIENTAL

RESUMEN

METODOLOGÍA PARA ESTUDIOS DE EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS PELIGROSAS^{30, 31,32, 33, 34}	INFORME Dr. ATV	INFORME Dra. LBA

³⁰ Fernández Ruiz, L. Las AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PLANIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA/ ed.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2012

³¹ METODOLOGÍA ATSDR /CDC Atlanta Octubre/2003. La ATSDR es la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés).

³² Foster, S. Hirata R. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes / OPS-CEPIS, 1988 (OPS es la Organización Panamericana de la Salud. El artículo se refiere a un estudio sobre aguas realizado en el Gran Sao Paulo).



Estudia características geológicas generales del lugar	No	Sí
Estudia características hidrogeológicas	No	Sí
Estudia ecosistemas dependientes	No	Sí
Equipara calidad química de referencia	No. Compara aguas crudas superficiales con agua potable	Sí. Compara cada tipo de agua con su respectiva norma
Considera evaluación del estado químico	No	Sí
Compara datos actuales con determinación histórica de tendencias de contaminantes	No	Sí
Establece origen de fuentes significativas de contaminación	No. Atribuye a lixiviación de material extraído túneles , los contaminantes presentes	Sí. Establece origen natural contaminantes presentes
Identifica el o los sitios donde el contaminante ingresa a las aguas	No	No
Verifica si se trata de una fuente natural o antrópica	No	Sí
Identifica los lugares en que el contaminante podría hacer contacto con el ser humano u otra especie	No	Observaciones que descartan exposición (estudio de ecosistemas relacionados)
Especifica la vía de ingreso del agente tóxico al organismo (cutáneo-mucosa, inhalatoria, digestiva).	No	Proporciona pautas para hacerlo
Establece vulnerabilidad de la población en riesgo frente a la contaminación.	No	Sí
Estudia cómo se propaga la	No	Sí

³³ IMPACTS OF URBANIZATION ON GROUNDWATER. S.S.D. Foster .WHO-PAHO Groundwater advisor for Latin America & Caribbean, Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS),Chairman'Commission on Hydrogeology for Developing Nations'International Association of Hydrogeologists, 1990.

³⁴ Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIAL. PLANES HIDROLOGICOS DE CUENCA 2009-2015.



sustancia en el medio que se estudia		
Establece hasta dónde puede llegar la contaminación en determinadas circunstancias	No	Proporciona pautas para hacerlo
Especifica trazabilidad y cadena de custodia de las muestras, desde su toma hasta su procesamiento final.	No. DR. ATV señala haber tomado las muestras, y haberla sellado para su inviolabilidad. Sin embargo, no consigna forma de conservación y transporte. Muestras fueron ingresadas al CENMA por MACARENA SATT (¿?) Informe CENMA señala: "La responsabilidad del Lab. Qca Amb. (LQA) del CENMA, se restringe a la prestación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y/o muestreo medioambiental, convenidos con el cliente... El LQA no se responsabiliza por las condiciones de preservación de las muestras tomadas por el cliente."	Sí. Procedimiento completo de Dra. LBA normado y estandarizado. Ella misma ingresa muestras al laboratorio y las analiza, contextualizando según metodología ATSDR.



V.- CONCLUSIONES

A la luz de los antecedentes tenidos a la vista, es posible concluir lo siguiente:

- 1) Existen numerosas guías, planes y normas, tanto nacionales como internacionales, de público y fácil acceso, acerca de la metodología del estudio de sitios presuntamente contaminados, y de cómo ello se puede vincular con su repercusión en la salud de especies vegetales y animales, entre ellas la humana.
- 2) Si la finalidad de un estudio de ese tipo, es deslindar responsabilidades respecto al origen de una contaminación, el ponente debe precisar:
 - a. Si la contaminación existía previamente, si se localizó su fuente, su naturaleza, los alcances de sus efectos y cuál era su comportamiento anual y/ o estacional.
 - b. Si es posible focalizar la fuente del contaminante y la potencial o real área territorial afectada, mediante muestras seriadas tomadas desde el origen del curso de agua investigado.
 - c. Si se puede descartar un origen natural de la misma.
 - d. Si se puede descartar influencias externas (lluvias, calor, deshidratación, tipo de suelo, entre otros; otros procesos antrópicos) en los resultados obtenidos
 - e. Si la técnica de toma de muestra, permite determinar trazabilidad de la misma (incluyendo identificación de los actores), así como de las condiciones de almacenamiento y envío.
 - f. Si las comparaciones de los datos obtenidos, pueden hacerse con registros comparables entre sí (ej. Valores de agua potable vs. Valores de agua potable y valores de agua de riego con valores del mismo tipo)
- 3) En caso de encontrar elementos de carácter tóxico en algunos lugares, en un momento determinado, ello obligaría, metodológicamente, a monitorear dichas zonas, no sólo con el fin de identificar la fuente emisora y tras de ella las posibles responsabilidades sino que, además, proponer estrategias de prevención o de mitigación.
- 4) La falta de proyección global, topográfica y temporal del informe elaborado por el Dr. ATV, impide además, caracterizar y fundamentar la legítima preocupación de los habitantes de la cuenca. A la vez, atribuye a un efecto antrópico (obra Alto Maipo) la presencia de minerales en el agua de una zona en que éstos son, reconocidamente, de origen natural. La difusión pública de dicha información, sesgada e incompleta, subrayando la idea de un elevado riesgo para la salud de las comunidades del lugar,



puede producir alarma injustificada en la población, sin un apropiado respaldo científico. Por otra parte, la asignación de responsabilidades a priori a la construcción de una obra de ingeniería, descontextualizando su quehacer, crea confusión entre procesos de transformación antrópica, fuentes contaminantes y responsabilidad humana. La comparación entre valores no estandarizados, con normas no aplicables a las muestras que se pretende analizar, basándose en una sola toma de muestras, carece de rigor científico, y no se atiene a los principios establecidos sobre estudios medioambientales.

- 5) En el informe elaborado por la Dra. LBA, se observa un enfoque global, lo que permite entender la influencia de los distintos fenómenos naturales y antrópicos presentes en una cuenca fluvial, así como las diversas fuentes potenciales y reales que pueden originar sustancias contaminantes. Ello permite elaborar proyecciones futuras de comportamiento ambiental basadas en datos y estudios existentes de larga data, como lo requiere la normativa nacional e internacional vigentes a este respecto. Al mismo tiempo, este tipo de estudio permite caracterizar los fenómenos ambientales en una dimensión temporal de mayor alcance, evitando sobrevalorar situaciones puntuales que más bien distorsionan la percepción del discurrir de los procesos de intercambio físico, químico y biológico de este tipo de geo-ambientes.

Es cuanto podemos informar.


Dra. Carmen Cerda Aguilar
Profesor Asociado
Directora
Departamento de Medicina Legal
Facultad de Medicina - Universidad de Chile
Presidenta de la Comisión Examinadora de la Especialidad de Medicina
Legal de CONACEM
Especialista en Medicina Legal - Anatomopatólogo
Reg. CONACEM 6795

UNIVERSIDAD DE CHILE
DEPTO. DE MEDICINA LEGAL
FACULTAD DE MEDICINA


Prof. Sr. Ulises Faúndez T.
Geógrafo
Especialista en Aplicaciones
de Teledetección e
Información Aeroespacial

Académicos del Depto. de Medicina Legal