



**E-LAW**

Environmental Law Alliance Worldwide

Comentarios a los

**Resultados de los análisis de aguas de los ríos Verde y Santiago**

Comisión Estatal de Agua y Saneamiento / Universidad de Guadalajara -CUCEI

**Preparado por:**

Mercedes Lu  
Asesora Técnica  
Alianza Mundial de Derecho Ambiental (E-LAW), EE.UU.  
1877 Garden Avenue  
Eugene, Oregon 97403, EE.UU.  
Teléfono: (541) 687 8454 – Fax: (541) 687 0535

**Febrero del 2006**

Este documento expresa la opinión de los autores y no necesariamente las opiniones de la oficina en los EE.UU. de la Alianza Mundial de Derecho Ambiental o de otros individuos u organizaciones afiliadas a la Alianza Mundial de Derecho Ambiental

## Calificaciones

Mercedes Lu De Lama, Química Farmacéutica, graduada de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Peru. Desde 1991 es asesora técnica de la red internacional Alianza Mundial de Derecho Ambiental, y desde setiembre del 2003 Investigadora Técnica Ambiental de la oficina en los EE.UU. de la mencionada red. La Q.F. Lu es también miembro fundadora de la Asociación Peruana de Toxicología, ha participado activamente en la elaboración de estándares de calidad ambiental, y en el análisis de los efectos de la contaminación atmosférica por fuentes industriales en diversos países del mundo.

A pedido de la Dra. Raquel Gutierrez Nájera he revisado el informe con los resultados de los análisis de lodos, sedimentos y aguas de los ríos Verde y Santiago por el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara; y el "Dictámen Técnico de los Tres Estudios Elaborados Cuyo Objetivo Fue Evaluar la Potabilidad del Agua del Embalse de la Presa Arcediano" Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, Gobierno de Jalisco. Principales observaciones:

### **Los resultados de los estudio a cargo de la Universidad de Guadalajara –CUCEI muestran cantidades significativas de metales pesados en los sedimentos de los ríos Verde y Santiago**

Se encontraron cantidades de metales pesados que podrían implicar riesgos en la salud de la población, tales como: romo, cobalto, mercurio, plomo y arsénico. Estos contaminantes podrían pasar de los sedimentos al agua por la influencia de las altas concentraciones de manganeso que también fueron encontradas:

*"Se debe prestar atención a la calidad de las aguas residuales, pero también a los sedimentos de los lechos de los ríos Verde y Santiago, puesto que existe el riesgo potencial de que los contaminantes contenidos en estos se desprendan a la corriente acuosa.*

*Esto es importante por cuanto se observaron concentraciones de **manganeso** que alcanzan los 0.7 mg/L... aun cuando este metal no esta contemplado dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996, su presencia en aguas y sedimentos puede causar reacciones de oxidación y reducción sobre otros metales como arsénico y plomo.*

*Es sabido que estos contaminantes pueden ser liberados a la corriente después que ocurre una disolución reductiva del óxido o hidróxido de manganeso (trivalente y tetravalente) por ligando orgánicos con el consecuente desprendimiento de manganeso (divalente) y co-precipitación de otros contaminantes. En la estación hidrométrica La Cuña se registraron valores de manganeso de hasta 500 mg/kg en el sedimento y de 0.1 mg/L en el agua.*

*Lo mismo ocurre en el río Santiago, que tiene una mala calidad del agua a lo largo de todo el río, en el caso del manganeso en sedimentos se encontraron niveles que sobrepasan los 5,000 mg/kg y 0.76 mg/L en El Salto.*

*Además, los sedimentos presentan altas concentraciones de **romo, plomo, cobalto y arsénico.** Existe el potencial de liberación a la corriente acuosa de estos metales debido a las altas concentraciones de manganeso.*

### Valores contaminantes en sedimentos de los ríos Verde y Santiago

| Elemento | Valor guía <sup>(i)</sup><br>µg/g | Río Verde<br>mg/kg | Río Santiago<br>mg/kg<br>(rango) | Arcediano<br>mg/kg |
|----------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
| Cromo    | 0.026                             | 15.6i              | 14.3-61                          | 21.3               |
| Plomo    | 0.031                             | 6.5ii              | 2.8-27.7                         | 5                  |
| Cobalto  | 0.02                              | 7.98iii            | 3.3-28.17                        | 12.3               |
| Arsénico | 0.006                             | 4.2iv              | 0.6-16                           |                    |

Fuente: Sección 2-9 Informe Universidad de Guadalajara

Canada: Ontario. Estándares para sedimentos de la norma para suelos, aguas subterráneas y sedimentos conforme Parte XV.1 de la Ley de Protección del Ambiente.

<http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/4697e.htm>

i y iii Ríos Yahualica y Verde

ii y iv San Nicolás

### Contaminación del río Santiago

La cuenca del Río Santiago constituye una de las cuencas más contaminadas de México. Industrias ubicadas a lo largo de la cuenca, tales como la metalmecánica, metalúrgica, electromecánica, de pinturas, de baterías, química, petroquímica, minera, peletera, etc., generan desechos acuosos los cuales contienen, entre otros contaminantes, iones de metales como cadmio, cromo, mercurio, plomo, cobre, zinc, arsénico. Estos metales son una amenaza para el medio ambiente y para todos los sistemas vivos debido a su alta toxicidad según un documento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)<sup>1</sup>.

El río Santiago recibe descargas de industrias tales como Ciba, Celanese, Nestlé, etc. El vertimiento de descargas industriales es uno de los más graves problemas del río Santiago y representa un riesgo a la salud humana y a sistemas vivos, tal como ha sido puesto en evidencia por los niveles encontrados en las aguas y en los sedimentos. En algunas muestras de sedimentos del río Santiago se encontraron compuestos muy tóxicos, tales como hidrocarburos policíclicos aromáticos, benzaldehidos, xilenos (orto, meta y para), furanos y fenol (Informe U de G – CUCEI pág. 2-47).

Los niveles excesivos de contaminación del río Santiago han sido determinados en parámetros tales como DBO<sub>5</sub>, grasas y aceites, Sólidos Suspendedos Totales (SST),

<sup>1</sup> Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Jalisco. <http://www.conacyt.mx/fondos/jalisco/jalisco-2004-02/Demandas%20Espec%EDficas%20Jalisco%202004-02-2.pdf>

nitrógeno total K, en comparación con las condiciones particulares de descarga, y los cuales están elevados hasta en un 100% o más en los tres resultados para el estiaje para los años 1999, 2000 y 2001 de muestreos realizados por el SIAPA, en comparación con los valores dictados por la NOM -001-ECOL-1996<sup>2</sup>.

La Tabla 5 del informe de la UdeG - CUCEI con los resultados de los análisis de agua del río Santiago señala que se encontró estos contaminantes en los siguientes lugares:

|                              |                                                                                                                                      |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Disulfuro de Carbono:</b> | Celanese, cortina de Poncitlán, hidroeléctrica Colimilla                                                                             |
| <b>Tricloroetano:</b>        | Hidroeléctrica intermedia, hidroeléctrica Las Juntas                                                                                 |
| <b>Benceno:</b>              | Todos los puntos de toma de muestra excepto 4 lugares <sup>3</sup> .                                                                 |
| <b>Tolueno:</b>              | Confluencia de los ríos Ocotlán, Celanese, cortina de Poncitlán, cerca de descarga de Ciba, hidroeléctrica Puente Grande, Arcediano. |
| <b>Fenol:</b>                | Cortina de Poncitlán, presa de la hidroeléctrica Colimilla.                                                                          |
| <b>Tetracloroetileno:</b>    | Hidroeléctrica Puente Grande                                                                                                         |
| <b>Bencenos clorados:</b>    | Caida de El Salto, Juanacatlán                                                                                                       |
| <b>Bencenos sustituidos:</b> | Celanese, cerca de la descarga de Ciba, caída de El Salto, Juanacatlán, hidroeléctrica Puente Grande                                 |

Los análisis de sedimentos y aguas de los ríos Verde y Santiago indicaron la presencia de benceno, tolueno y xileno –en general derivados del benceno- que son muy peligrosos para la salud<sup>4</sup>. El Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. (DHHS) ha determinado que el benceno es un carcinógeno reconocido. Tanto la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como la EPA también consideran al benceno como carcinogénico en seres humanos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que el benceno es peligroso como contaminante del agua:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/benzene.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/benzene.pdf)

En diversas ocasiones la CEAS cuestiona la veracidad de los resultados del informe de la Universidad de Guadalajara – CUCEI, sin embargo la Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Regional Proyecto Presa Arcediano reconoce que los niveles de contaminación del río Santiago y del río Verde son altas. Por ejemplo, reconoce que las sustancias activas en azul de metileno (detergentes), están por arriba del parámetro. La MIA dice “nunca como hasta ahora (2002-2003) ha estado tan bajo el contenido de oxígeno disuelto (0-0.5 mg/L)”<sup>5</sup>.

La MIA incluso menciona que los niveles de cromo en el río Santiago, antes de su confluencia con el río Verde fueron de 0.078 mg/L, equivalentes a 1.56 veces el parámetro establecido para cromo en la modificación a la NOM-127-55A1-1994 (tabla IV.2.A.37, página IV 66 de la MIA). Esta tabla muestra que no sólo el cromo excede los parámetros de los parámetros establecidos por ley, sino que ocurre lo mismo con el

<sup>2</sup> Informe UdeG-CUCEI pg.1-3.

<sup>3</sup> excepto: puente Fdo. Espinoza, Mazatlán, presa de la hidroeléctrica Colimilla, hidroeléctrica Intermedia.

<sup>4</sup> Conclusiones informe de la Universidad de Guadalajara –CUCEI págs. 2-50; 2-46

<sup>5</sup> MIA Proyecto Presa Arcediano, página IV-70.

plomo, habiéndose encontrado concentraciones tres veces (0.03 mg/L) comparados con el parámetro de la norma arriba mencionada (0.01 mg/L); y de nitrógeno amoniacal de 21.6 mg/L que excedió mas de cuarenta veces el parámetro de dicha norma (0.5 mg/L).

### **Contaminación del río Verde**

El río Verde presenta gran actividad agrícola a lo largo de su cauce. Este tipo de actividad puede ocasionar que se viertan a la corriente acuosa contaminantes peligrosos a la salud humana debido al alto nivel de productos químicos utilizados en este tipo de actividad<sup>6</sup>. Las aguas del río Verde también reciben la descarga de efluentes industriales sin tratamiento previo<sup>7</sup>.

Se observaron cantidades significativas de cromo, plomo, cobalto, mercurio y arsénico también en el río Verde particularmente en Gavilán de Abajo, San Nicolás, rios Yahualica y Verde y La Cuña. Especialmente en los sitios San Nicolas y rios Yahualica y Verde. Por ejemplo, la cantidad de cromo en sedimentos encontrados en este último sitio supera 500 veces el parámetro cromo, 200 veces el de plomo, 350 veces el de cobalto, 650 veces el de arsenico para sedimentos de la legislación canadiense (ver página 3 de este documento).

### **Influencia de las concentraciones de manganeso encontradas en la migración de elementos tales como el cromo, plomo –entre otros- de los sedimentos a la corriente de agua**

El informe de la U de G -CUCEI señala que se encontraron concentraciones de manganeso que alcanzan los 0.7 mg/L en el agua y valores que sobrepasan los 5,000 mg/kg de manganeso en el sedimento, (ver secciones 1-4 y 1-5). Asimismo que el manganeso en estados de oxidación (III) y (IV) aumentar la movilización del arsénico, cromo, plomo por cuanto el manganeso en estos estados exhiben una capacidad de adsorción hacia estos elementos potencialmente riesgosos para la salud.

Por ejemplo, los óxidos de manganeso oxidan al cromo que puede encontrarse estable en el ambiente como cromo trivalente Cr(III) en una forma tóxica de cromo hexavalente Cr(VI)<sup>8</sup>. La movilidad del cromo hexavalente –Cr(VI)- es más móvil en los cuerpos naturales de agua que el cromo trivalente porque el Cr(VI) forma complejos anionicos y compuestos mas solubles (Kim, 2002). De acuerdo con el Centro Internacional de Investigacion del Cáncer (IARC) el Cr(VI) ha forma parte del Grupo 1 de cancerígenos para los seres humanos<sup>9</sup>.

<sup>6</sup> Informe Universidad de Guadalajara –CUCEI pág. 1-1.

<sup>7</sup> *ibid*

<sup>8</sup> Kim, JG, et al (2002) "Oxidation of chromium (III) to (VI) by manganese oxides. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:306-315

<sup>9</sup> <http://www-cie.iarc.fr/htdocs/monographs/vol49/chromium.html>

*“La existencia de manganeso en concentraciones elevadas, especialmente en los sedimentos de los ríos Santiago...posee un riesgo potencial para que se promueva el desprendimiento del resto de los metales encontrados en este estudio...”*

[Conclusiones del análisis de lodos y sedimentos de la Universidad de Guadalajara. Pg. 2-43]

El manganeso es altamente susceptible a cambios en condiciones redox en la columna de agua y sedimentos<sup>10 y 11</sup>, lo cual podría influir en la migración de elementos tales como el arsénico, cromo y plomo desde los sedimentos al agua. Este hecho queda confirmado por la misma CEAS, quien ha reportado que ocasionalmente se sobrepasa la normatividad para arsénico y plomo en la corriente acuosa del río Santiago y en el sitio de Arcediano.

El aumento de la biodisponibilidad de estos elementos afecta a la vida silvestre y representa un riesgo a la salud de los individuos expuestos:

“Biodisponibilidad es la proporción de los metales totales que están disponibles para ser incorporados o bioacumulados por los seres vivos. La bioacumulación de metales por los seres vivos acuáticos y terrestres puede afectar severamente la salud humana<sup>12</sup>. Los sedimentos pueden contener niveles de elementos químicos más altos que el promedio, los que pueden generar formas biodisponibles de estos elementos. La concentración de metales tales como el cromo, manganeso, mercurio, cadmio, plomo y metaloides tales como el arsénico, antimonio, selenio en el ambiente es de gran importancia por implicar riesgos a la salud pública.”

### **El complejo medio de contaminantes en las aguas de los ríos Verde y Santiago pueden ser objeto de efectos sinérgicos**

La diversidad y complejidad de los compuestos orgánicos e inorgánicos, contaminantes microbiológicos representa un gran riesgo para la salud en los ríos Verde y sobre todo en el Santiago. Debido a la toxicidad de los contaminantes encontrados, es necesario determinar el riesgo para la salud pública que implican los compuestos químicos encontrados en ambos ríos. Este medio tan complejo de mezcla de los contaminantes mencionados puede ser sujeto a reacciones de sinergismo o potenciación de los efectos, tal como se ha visto en casos similares en los EE.UU.<sup>13</sup>.

---

<sup>10</sup> Alagarsamy R. (2005) Partitioning and Speciation of Trace Metal Diagenesis in Differing Depositional Environments in the Sediments of the Oman Margin. *Aquatic Geochemistry* 11: 195-213  
<http://www.environmental-expert.com/Files%5C6063%5Carticles%5C4950%5CU62L074U5JL4046R.pdf>

<sup>11</sup> <http://ag.udel.edu/soilchem/matocha01est.pdf>

<sup>12</sup> USGS (1999) John, D., Leventhal J. Bioavailability of metals <http://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831/CHAP2.pdf>

<sup>13</sup> <http://www.health.state.ny.us/nysdoh/lcanal/lcreport.htm>

## COMENTARIO FINAL

La información tanto de la MIA de la presa Arcediano así como los resultados de los análisis de la Universidad de Guadalajara –CUCEI indican un alto contenido de contaminantes tóxicos en los sedimentos y aguas de los ríos Verde y sobre todo en el río Santiago. La cantidad y tipo de contaminantes encontrados representa un grave riesgo para la salud de la población vida silvestre de las inmediaciones de ambos ríos, sobre todo del río Santiago.

El dictámen técnico de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento –CEAS- carece de información que garantice técnica y objetivamente que calidad del agua que se pretende distribuir a la ciudadanía proveniente de los ríos Verde y Santiago sea segura para la población.

Carece también de un estudio técnico-económico de tratamiento de aguas para remover eficaz y eficientemente los compuestos tóxicos, tales como metales, benceno, compuestos policíclicos aromáticos y otros de demostrada toxicidad encontrados en los resultados de los análisis de aguas.

Sin el conocimiento a detalle de las propuestas técnicas ni proyecciones de gastos para el tratamiento de las aguas que se pretende embalsar en Arcediano para abastecimiento de la población, no es posible conocer la eficacia de los métodos de tratamiento del agua, ni la viabilidad del uso de esta agua para consumo humano. Es necesario que las autoridades y población tenga acceso a esta información para poder tomar una decisión informada sobre la viabilidad del uso de las aguas de los ríos Santiago y Verde para consumo humano.

Es necesario tomar medidas inmediatas para controlar y reducir la descarga de efluentes provenientes de los desagües municipales e industriales a lo largo de los ríos Verde y Santiago, por cuanto el deterioro de la calidad del agua es sumamente elevada y constituye un riesgo para la salud de la población local.

Q.F. Mercedes Lu  
Febrero 2006

## ANEXO

### Efectos en la salud de los contaminantes encontrados en el agua y sedimentos de las muestras analizadas de los ríos Verde y Santiago

#### Antimonio

La exposición a altos niveles de antimonio puede producir una variedad de efectos perjudiciales para la salud.

Respirar altos niveles de antimonio por largo tiempo puede irritar los ojos y los pulmones, y puede causar trastornos del corazón y de los pulmones, dolor de estómago, diarrea, vómitos y úlceras estomacales.

En estudios de exposición breve, los animales que respiraron niveles muy altos de antimonio fallecieron. Los animales que respiraron altos niveles sufrieron daño a los pulmones, el corazón, el hígado y los riñones. Los animales que respiraron niveles muy bajos de antimonio por largo tiempo sufrieron irritación a los ojos, caída del pelo, daño al pulmón y trastornos al corazón.

Ingerir grandes cantidades de antimonio puede causar vómitos, sin embargo, no se sabe que otros efectos pueden ocurrir al ingerir antimonio. Los estudios de larga duración en animales han demostrado lesiones del hígado y alteraciones en la sangre. El antimonio puede irritar la piel si no se remueve prontamente<sup>14</sup>.

#### Arsénico

El Arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Varios estudios han demostrado que la ingestión de arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de **cáncer** de la piel, los pulmones, el hígado y la próstata. La inhalación de arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de cáncer del pulmón. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que el arsénico inorgánico es un elemento carcinogénico reconocido. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos.

Hay evidencia que sugiere que la exposición prolongada al arsénico reduce el cociente de inteligencia (IQ) en niños. También hay información que sugiere que en los niños el arsénico inorgánico se transforma a la forma menos perjudicial orgánica con menor facilidad que en los adultos. Por esta razón, los niños pueden ser más susceptibles a los efectos del arsénico inorgánico que los adultos.

---

<sup>14</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts23.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts23.html)

Hay evidencia de que la inhalación o ingestión de arsénico puede ser perjudicial para mujeres embarazadas y el feto<sup>15</sup>.

### **Benceno, y compuestos derivados**

Los análisis de sedimentos y aguas de los ríos Verde y Santiago indicaron la presencia de benceno, tolueno y xileno –en general derivados del benceno- que son muy peligrosos para la salud<sup>16</sup>. El Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. (DHHS) ha determinado que el benceno es un carcinógeno (puede producir cáncer) reconocido. Tanto la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como la EPA han determinado que el benceno es carcinogénico en seres humanos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que el benceno es peligroso también como contaminante del agua<sup>17</sup>.

La ingestión de alimentos o bebidas que contienen niveles altos de benceno puede producir vómitos, irritación del estómago, mareo, somnolencia, convulsiones, aceleración del latido del corazón, coma y la muerte. El benceno produce alteraciones en la sangre. Estos efectos pueden interrumpir la producción de elementos de la sangre y producir una disminución de algunos componentes importantes de la sangre. Una disminución de los glóbulos rojos puede conducir a anemia. La reducción de otros componentes de la sangre puede causar hemorragias. La producción de elementos de la sangre puede normalizarse después que la exposición al benceno termina. La exposición excesiva al benceno puede ser perjudicial para el sistema inmunitario, aumentando las probabilidades de contraer infecciones y posiblemente disminuyendo las defensas del cuerpo contra el cáncer.

La exposición prolongada al benceno puede producir cáncer de los órganos que producen los elementos de la sangre. Esta condición se llama leucemia. La exposición al benceno se ha asociado con el desarrollo de un tipo especial de leucemia llamada leucemia mieloide aguda<sup>18</sup>.

### **Cromo**

El cromo (III) es un elemento nutritivo esencial que ayuda al cuerpo a utilizar azúcar, proteínas y grasa. Sin embargo, varios estudios han demostrado que los compuestos de cromo (VI) pueden aumentar el riesgo de contraer cáncer del pulmón. Estudios en animales también han demostrado aumentos en el riesgo de cáncer. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado que el cromo (VI) es carcinógeno en seres humanos. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que

---

<sup>15</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts2.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts2.html)  
<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/As.htm>

<sup>16</sup> Conclusiones informe de la Universidad de Guadalajara –CUCEI págs. 2-50; 2-46

<sup>17</sup> [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/benzene.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/benzene.pdf)

<sup>18</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs3.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.html)

se sabe que ciertos compuestos de cromo (VI) producen cáncer en seres humanos. La EPA ha determinado que el cromo (VI) en el aire es carcinogénico en seres humanos<sup>19</sup>.

### **Cobalto**

El cobalto tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud. El cobalto es beneficioso para seres humanos porque forma parte de la vitamina B<sub>12</sub>, que es esencial para mantener buena salud. El cobalto (0.16 a 1.0 mg de cobalto/kg de peso corporal) también ha sido usado como tratamiento para la anemia (reducción significativa del número de glóbulos rojos en la sangre), incluso en mujeres embarazadas, debido a que estimula la producción de glóbulos rojos. El cobalto también estimula la producción de glóbulos rojos en gente sana, aunque solamente a niveles de exposición muy altos. El cobalto también es esencial para la salud de animales, como por ejemplo el ganado vacuno y las ovejas. La exposición de seres humanos y animales a los niveles de cobalto que se encuentran normalmente en el ambiente no produce daño. Sin embargo, cuando el cuerpo absorbe demasiado cobalto pueden ocurrir efectos perjudiciales<sup>20</sup>.

### **Disulfuro de Carbono**

La exposición prolongada a bajos niveles de disulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>) está asociada con diversas enfermedades, efectos adversos a la salud tales como problemas neurológicos y conductuales, incluyendo irritabilidad y pérdida de la memoria. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud:

*“Se ha reportado cambios neurológicos debido a las concentraciones de disulfuro de carbono; los síntomas son la reducción de la velocidad de conducción a nivel nervioso y problemas psicológicos.”*

Estudios en animales indican que el sulfuro de carbono puede perjudicar el funcionamiento normal del cerebro, el hígado y el corazón. Algunas crías de ratas expuestas a sulfuro de carbono en el aire durante la preñez fallecieron o tuvieron defectos de nacimiento<sup>21</sup>.

### **Fenol**

En seres humanos expuestos al fenol se han descrito numerosos efectos. Entre los efectos de exposición prolongada a niveles bajos se incluyen aumentos de la tasa de cáncer de las vías respiratorias, enfermedades del corazón, y efectos sobre el sistema inmunitario. La exposición a altas concentraciones de fenol durante varias semanas

---

<sup>19</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts7.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html)

<sup>20</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs33.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.html)

<sup>21</sup> <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/carbondi.html>

[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts82.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts82.html)

produce parálisis y lesiones graves del corazón, los riñones, el hígado, y los pulmones, seguido en algunos casos por la muerte.

Las exposiciones repetidas a niveles bajos de fenol en el agua potable han sido asociadas con diarrea y úlceras bucales en seres humanos. La ingestión de cantidades muy altas de fenol ha producido la muerte. En animales, beber agua con cantidades de fenol sumamente altas ha producido temblores musculares y pérdida de la coordinación<sup>22</sup>.

### **Furanos**

Los furanos pueden causar una gran cantidad de efectos negativos a la salud, entre ellos el cáncer. La Agencia de Protección del Ambiente de los EE.UU. (EPA) ha declarado que los furanos pueden causar cáncer en seres humanos. Además de esto, tanto las dioxinas, como los furanos causan cloracné, cambios en las funciones hormonales, desarrollo fetal y sistema inmunológico<sup>23</sup>. De acuerdo a las informe de la Universidad de Guadalajara, se encontró furanos aún en Arcediano (pág. 2-48).

### **Mercurio**

Los efectos en la salud pueden variar mucho dependiendo del compuesto de mercurio del que se trate, el nivel de exposición y de la dosis.

El mercurio inorgánico puede entrar al agua o al suelo durante la erosión de rocas que contienen mercurio, desde fábricas o desde plantas de tratamiento de agua que liberan agua que ha sido contaminada con mercurio proveniente de termómetros, interruptores eléctricos o baterías que se han desechado. Los compuestos de mercurio inorgánico u orgánico pueden ser liberados al agua o al suelo si se han usado fungicidas que contienen mercurio. Los microorganismos (bacterias, fitoplancton en el océano y hongos) convierten al mercurio inorgánico a metilmercurio. El metilmercurio liberado por los microorganismos puede entrar al agua o al suelo y permanecer ahí durante mucho tiempo, especialmente si se adhiere a pequeñas partículas en el suelo o el agua.

Algunas personas pueden estar expuestas a niveles más altos de mercurio en la forma de metilmercurio si llevan una dieta abundante en pescado, mariscos o mamíferos acuáticos (ballenas, focas, delfines y morsas) que provienen de aguas contaminadas con mercurio.

El sistema nervioso es muy susceptible al mercurio. En intoxicaciones que ocurrieron en otros países, algunas personas que consumieron pescado contaminado con altas cantidades de metilmercurio o semillas de granos tratadas con metilmercurio u otros compuestos de mercurio sufrieron daño permanente del cerebro y los riñones. El daño permanente del cerebro también ha ocurrido después de exposición a altas cantidades de mercurio metálico. No se sabe con certeza si la exposición a compuestos de mercurio

---

<sup>22</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs115.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs115.html)

<sup>23</sup> <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/minimize/factshts/dioxfura.pdf>

inorgánico también daña el cerebro y los nervios, ya que no pasa fácilmente de la sangre al cerebro<sup>24</sup>.

### **Tricloroetano**

El 1,1,1-tricloroetano es un compuesto sintético que no ocurre naturalmente en el ambiente. También se le conoce como metilcloroformo, metiltriclorometano, triclorometilmetano y alfa-triclorometano. Esta sustancia se ha inscrito bajo los nombres registrados chloroethene NU® y Aerothene TT®.

La mayoría del 1,1,1-tricloroetano liberado al medio ambiente entra al aire, donde puede permanecer por aproximadamente 6 años. El agua contaminada proveniente de vertederos y sitios de desechos peligrosos puede contaminar el suelo y las aguas superficiales y subterráneas cercanas.

El 1,1,2-tricloroetano es un líquido incoloro de aroma dulce. No arde fácilmente, puede disolverse en agua, y se evapora fácilmente. Es usado como solvente (una sustancia química que disuelve a otra sustancia) y como intermediario en la producción del producto químico, 1,1-dicloroetano. El 1,1,2-tricloroetano a veces está presente como impureza en otros productos químicos, y puede formarse cuando otra sustancia química se degrada en el ambiente bajo condiciones donde no hay aire.

El 1,1,2-tricloroetano parece permanecer en el agua por largo tiempo; se demora años en degradarse y puede entrar al agua subterránea filtrándose a través del suelo. Las personas pueden estar expuestas al 1,1,2-tricloroetano tomando agua contaminada.

Cuando animales respiraron altos niveles de 1,1,2-tricloroetano, les afectó el hígado y los riñones. También se observaron efectos sobre el sistema nervioso, tales como excitación y somnolencia. Cuando animales tragaron alimentos o agua con 1,1,2-tricloroetano, se observaron efectos al estómago, la sangre, el hígado, los riñones y el sistema nervioso<sup>25</sup>.

### **Tetracloroetileno**

En casi todas las muestras del río Verde se encontró tetracloroetileno. Este compuesto de gran importancia su presencia, ya que al estar sujeto a degradación reductiva, libera cloro, el cual se conjuga con compuestos aromáticos y podría generar moléculas peligrosas para la salud, tales como el cloruro de vinilo, que puede causar cáncer al hígado entre otras enfermedades<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts46.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts46.html)

<sup>25</sup> Agencia para Sustancias tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) EE.UU.  
[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts70.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts70.html)  
[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts148.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts148.html)

<sup>26</sup> página 2-47, informe de la Universidad de Guadalajara

## **PAH (Compuestos Policíclicos Aromáticos)**

Los PAH han sido estudiados extensamente. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que algunos PAH son carcinogénicos. Ciertas personas que han respirado o tocado mezclas de PAH y otros compuestos químicos por largo tiempo han contraído cáncer. Ciertos PAH han producido cáncer en animales de laboratorio que respiraron aire con PAH (cáncer al pulmón), comieron alimentos con PAH (cáncer al estómago), o se les aplicó PAH en la piel (cáncer a la piel)<sup>27</sup>.

## **Plomo**

Algunos rangos de valores en muestras de sedimento del río Santiago: 2.8-27.7 mg/kg .  
Río Verde: 5.3 – 6.5 mg/kg

El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición prolongada de adultos puede causar un deterioro en el resultado de algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso. También puede producir daños neurológicos irreversibles en los niños. La exposición al plomo también produce un aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles puede alterar la producción de espermatozoides<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts69.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts69.html)

<sup>28</sup> [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts13.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.pdf)

