

## EFFECTOS A LA SALUD POR LA INGESTA CRÓNICA DE ARSÉNICO EN AGUA

Laura Silvia Gonzalez-Valdez<sup>1</sup>, Manuel Quintos-Escalante<sup>1</sup>, María Guadalupe Reyes-Navarrete<sup>1</sup>, E C Vázquez-Alarcón<sup>1</sup>, Alicia Irene Alvarado-De La Peña<sup>1</sup>, D M Antuna<sup>1</sup>, Alfonso García-Vargas<sup>1</sup>, V S Jaquez-Matas, F. Orona-Meza

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Durango. Sigma 119, Frac. 20 de noviembre II, Durango, Dgo., México. 34220, <sup>2</sup>Becario COFAA

### RESUMEN

Reportes de estudios realizados por organismos internacionales revelan contaminación del agua por presencia de arsénico en Bangladesh, La India, Tailandia, Estados Unidos, Argentina, Chile, y México, entre otros. La ingestión de altas dosis produce síntomas gastrointestinales, disturbios de las funciones cardiovasculares y del sistema nervioso ocasionando eventualmente la muerte. La exposición crónica al arsénico a través del agua de consumo humano se ha relacionado con enfermedades en la piel (hiperqueratosis e hiperpigmentación). Ese tipo de contaminación se ha asociado también al incremento de riesgo de cáncer en piel, pulmones, vejiga y riñón por lo que está considerado como potente agente cancerígeno, incluido en el grupo de sustancias peligrosas con prioridad 1 por la ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Estudios recientes han comprobado que el arsénico es capaz de traspasar la barrera placentaria induciendo malformaciones o daños neurológicos de diversos tipos. La Organización Mundial de la Salud, la Comunidad Europea y la Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos) establecen como límite máximo permisible (LMP) un valor de 0.01 mg/L de As para el agua destinada al consumo humano. En México a partir del año 2006 el LMP se modificó de 0.059 a 0.025 mg/L.

**PALABRAS CLAVE:** arsénico en agua, efectos a la salud causados por arsénico

### ABSTRACT

Studies about water pollution for presence of arsenic realized by international agencies reveal high concentrations of this element in Bangladesh, La India, Thailand, United States, Argentina, Chile and Mexico. The ingestion of high doses produced gastrointestinal symptoms, disturbances of the cardiovascular functions and nervous system eventually causing death; the chronic exposure to arsenic through drinking water has been associated with disease in the skin (hyperkeratosis and hyperpigmentation) and has been associated to increased risk of skin, lungs, bladder and kidney cancer, and because of this, arsenic is considered as powerful agent carcinogenic, included in the A group of dangerous substances, with priority 1 for the ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry); recent studies have shown that it is able to cross the placental barrier inducing malformations or neurological damage of various types. The World Health Organization, the European Community and the US Agency for Environmental Protection, established as the maximum limit permissible (MLP) value of 0.01 mg/L As for drinking water; in Mexico, from 2006, the MLP was changed from 0.059 to 0.025 mg/L.

**KEYWORDS:** arsenic in water, health effects caused by arsenic

### INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas cumplen un papel muy importante y en numerosos casos vital para el suministro del agua potable de áreas urbanas y rurales de los países. México, un país rico en recursos

naturales, obtiene el agua que consume la población tanto de fuentes superficiales como subterráneas. Los acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias, sin embargo hay que considerar que del total de agua captada, aproximadamente el 70% se evapora (CNA, 2005).

El recurso hídrico está sujeto a perder su calidad, ya sea por contaminación natural (disolución de minerales y erosión, entre otros factores) o antropogénica (actividades mineras, agrícolas, e industriales, entre muchas otras), y sus efectos a la salud humana son motivo de preocupación a nivel internacional, por lo que se han dictado criterios y normas sobre la calidad del agua.

Los efectos a los ecosistemas ocasionados por contaminantes, como los metales pesados (como plomo, cadmio, y mercurio), plaguicidas, cianuros, hidrocarburos, arsénico y fenol provocan prácticamente la destrucción de los hábitats acuáticos y generan graves efectos a la salud en las comunidades que usan este líquido para su consumo; incluso en algunas áreas del planeta, la problemática de la presencia de elementos químicos en altas concentraciones, ya ha originado contaminación de las aguas subterráneas, creando riesgos potenciales para la salud pública y causando el abandono de las fuentes de suministro de agua existentes (Díaz-Barriga, 1999).

### **CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO**

En países como La India, Bangladesh, Mongolia, Tailandia, Estados Unidos, Argentina, Chile, Brasil, y México se han reportado concentraciones altas de arsénico en el agua destinada al consumo humano (CNA, 2005). Casos graves se presentan en Chile con concentraciones de As de hasta 860 µg/L en el agua superficial y en Bangladesh con concentraciones mayores de 1000 µg/L en aguas provenientes de acuíferos. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud se estima que más de 30 millones de personas consumen agua con contenido de arsénico que está por encima de los límites permisibles (Díaz-Barriga, 1999).

En México este problema se ha detectado en acuíferos de los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora, y Zacatecas, principalmente (Figura 1), donde se han reportado concentraciones hasta de 1.0 mg/L. En la Comarca Lagunera la presencia de agua contaminada por arsénico adquiere mayor trascendencia por ser una región con una importante actividad agrícola y ganadera, ya que el agua no sólo es utilizada para el abastecimiento de núcleos de población sino también como agua de riego y alimento para el ganado (CEPIS/OPS, 2000; Cebrian et al., 1983).

En el Valle del Guadiana y la Ciudad de Durango, Durango se ha detectado la presencia de arsénico en el agua subterránea proveniente del acuífero principal del Valle, presencia que se atribuye a la composición geológica de los estratos subterráneos, derivados de magmas originados por la fusión parcial de la corteza terrestre, tal como sucede en San Luis Potosí. El 32% de los pozos localizados en el Valle del Guadiana tienen concentraciones de arsénico menores a 0.025 mg/l y en el 68% restante las concentraciones varían de 0.025 hasta 0.192 mg/l. Se ha encontrado que la mayor concentración de arsénico se ubica en las zonas norte y noroeste del Valle (Petkova, 1998; Chávez, 2010).

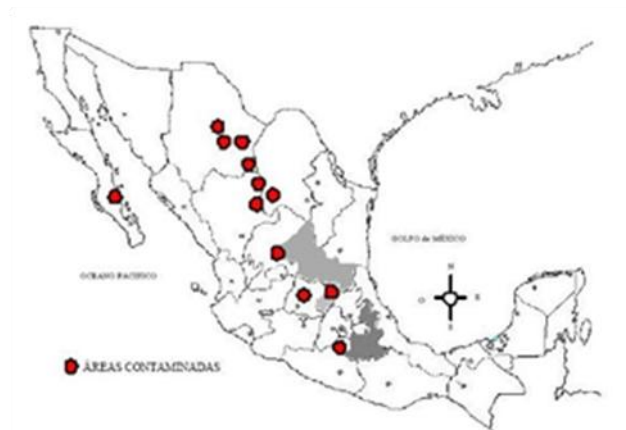


Fig. 1. Extensión de Arsénico en México

### ORIGEN DEL ARSÉNICO

El arsénico presente tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas, proviene principalmente de la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas, la depositación atmosférica y en forma de aerosoles; se puede encontrar tanto en su forma trivalente como en su forma pentavalente, según las condiciones del medio. En el agua superficial predominan las formas oxidadas y en el agua subterránea, sobre todo en la más profunda, las formas reducidas, siendo estas últimas más tóxicas. El principal mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita o pilo); otros arseniuros metálicos son los minerales FeAs<sub>2</sub> (löllingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobalto brillante), NiAsS (gersdorfita) y CoAs<sub>2</sub> (esmalta) (Chávez, 2010).

En el agua superficial y subterránea los estados de oxidación en que el arsénico se encuentra comúnmente son los estados +5 y +3. El arsenito o arsénico trivalente (As<sup>+3</sup>) se encuentra en solución como H<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>AsO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup> y H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-2</sup> en aguas naturales con pH entre 5 a 9 (aguas subterráneas), y el arsenato o arsénico pentavalente (As<sup>+5</sup>) se encuentra en forma estable en aguas superficiales con altos niveles de oxígeno como H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub> en un intervalo de pH de 2 a 13 (CNA, 2005).

### NORMATIVIDAD

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y por organismos reguladores de los gobiernos (Tabla 1), pudiendo variar ligeramente de uno a otro (Sherma y Sohn, 2009).

Tabla 1. Valores guía para Arsénico

País/Organización	Nivel de contaminación máximo (mg/l)
México	0.025 ( a partir de 2006)
Argentina	0.050
Canadá	0.025
USA	0.010
Francia	0.050
Taiwán	0.050
China	0.050
India	0.050
Comunidad Europea	0.010

### **REMOCIÓN DE ARSÉNICO**

Para tratar de cumplir con la reglamentación internacional se han desarrollado diferentes técnicas para la remoción de contaminantes con eficiencias que van desde 70 hasta 99%, dependiendo de la concentración inicial, del estado de oxidación del As y del pH. Ejemplos de ellas son Coagulación- filtración, Adsorción, Intercambio Iónico y Procesos de membrana (DOF, 2000).

### **METABOLISMO DEL ARSÉNICO**

Vía digestiva: El arsénico inorgánico ingerido es absorbido por los tejidos y se elimina progresivamente por metilación; su excreción ocurre en la orina a través de los riñones. Cuando la ingestión es mayor que la excreción, tiende a acumularse en la piel, el cabello y en las uñas. El tiempo de vida media del arsénico inorgánico en el ser humano es de 2 a 40 días. La OMS estima que para que este elemento cause daños a la salud la persona requiere una exposición al arsénico de 5 a 10 años, dependiendo de los niveles de concentración (Cebrián et al., 1983).

### **EFFECTOS A LA SALUD.**

El principal efecto no cancerígeno, de acuerdo a D'Ambrosio (2005), es la intoxicación crónica, se manifiestan a través de:

a) Lesiones cutáneas. Son multiformes y el resultado de una acción sistémica y local se manifiesta por presencia de eritema, pápulas y vesículas y lesiones ulcerativas dolorosas, especialmente en las superficies expuestas; se conocen como hiperpigmentación e hiperqueratosis palmoplantar y enfermedad del pie negro (Figura 2).

b) Lesiones en las mucosas, como queratoconjuntivitis, irritación de las vías respiratorias superiores, ulceración y perforación del tabique nasal.

c) Trastornos gastrointestinales. Poco frecuentes en la intoxicaciones industriales, con náuseas, vómitos, cólicos, alternancia de diarrea y estreñimiento, y ulcera gástrica.

d) Trastornos nerviosos: neuritis periférica sensitivo-motriz, parestesias en las extremidades, encefalopatía, y dolor en los miembros, marcha difícil, debilidad muscular que afecta esencialmente los extensores de los dedos y los dedos gordos del pie.

e) Afectación hepática. La ingestión y la inhalación repetidas de arsénico pueden causar lesiones degenerativas en el hígado que pueden desembocar en cirrosis y problemas de reabsorción renal.

f) Afectación del corazón y de la circulación periférica. El arsénico puede ejercer una acción tóxica sobre el miocardio que se traduce especialmente en trastornos electrocardiográficos.

g) Trastornos hematológicos: leucopenia, anemia (a veces megaloblastica) y trombocitopenia. Además hemoangioendotelioma.

h) Trastornos generales: pérdida de peso y anorexia, y su capacidad de disruptor endocrino relacionado con el desarrollo de diabetes y abortos espontáneos.

Está demostrado que la exposición a arsénico incrementa la incidencia de cáncer de piel, hígado, pulmón y linfático en humanos. La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, (USEPA), y otros organismos como el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), clasifica el arsénico dentro de los grupos que incluyen sustancias carcinogénicas para los seres humanos (Tabla 2). Varios estudios han demostrado que la ingestión de

arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de cáncer de la piel y de cáncer del hígado, la vejiga y los pulmones; su inhalación puede desencadenar cáncer en pulmón (Lauwerys, 1988).



Fig. 2 Hiperqueratosis e hiperpigmentación

Tabla 2. Categorización de sustancias según su condición carcinogénica

CATEGORIZACIÓN	IARC	IRIS/USEPA
Carcinógeno Humano	Grupo 1	Grupo A
Probable Carcinógeno Humano	Grupo 2A	Grupo B
Posible Carcinógeno Humano	Grupo 2B	Grupo C
No Clasificable como Carcinógeno Humano	Grupo 3	Grupo D
Probable No Carcinógeno Humano	Grupo 4	--

Estudios in vivo e in vitro han indicado los efectos de arsénico en los cromosomas humanos. Gómez-Caminero et al. (2001) reportan el trabajo de Gonsebatt et al. (2010), del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en el que se mencionan que entre los efectos del arsénico en los cromosomas se encuentran aberraciones cromosomales, cambios cromátidos, y alteraciones de los mecanismos de reparación del ADN.

Los efectos teratogénicos han sido estudiados en animales de laboratorio expuestos a altas dosis de arsénico. Sánchez-Peña et al. (2010) mencionan los trabajos de Schroeder y Mitchener realizados en 2000, quienes experimentaron con tres generaciones de ratones a las que se expusieron a bajas dosis de arsénico (5mg As/kg de comida), y observaron como único efecto la reducción del número de crías de las camadas. No se dispone de datos de teratogenicidad en humanos. Sin embargo, el arsénico en altas dosis debe ser considerado un potencial teratógeno en humanos, dado que el arsénico inorgánico traspasa la placenta y que existe evidencia de teratogenicidad con altas dosis en animales (Petkova, 1998).

### ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

La ingestión permanente de aguas contaminadas por sales de arsénico origina el llamado Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), muy frecuente en numerosas regiones del planeta. Existen numerosos casos ya desde los años 70, que revelan los efectos tóxicos de una exposición prolongada al arsénico. Notables son los de Bangladesh (1978) y del Oeste de Bengala, en los que un millón de pozos se vieron contaminados con arsénico y más de 200,000 personas se vieron afectados, e incluso murieron por cáncer. En India existen alrededor de 6 millones de personas expuestas al arsénico, de los cuales más de 2

millones son niños; una problemática similar se ha reportado en China, Taiwán y Pakistán (Guha et al., 1999).

En América Latina, Argentina, Chile, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia, se estima que, por lo menos 4 millones personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud, en donde se ha reportado ya la enfermedad de HACRE. En México, en 1958, se reconoció que la Comarca Lagunera es una zona de hidroarsenicismo crónico. En las poblaciones rurales de los municipios de Francisco I. Madero y San Pedro de las Colonias, Coahuila, y Tlahualilo, Dgurango, se realizaron entre los años 70 y 80 algunos estudios epidemiológicos que mostraron una alta incidencia de estados patológicos atribuibles al arsénico, como lesiones en la piel y enfermedades vasculares periféricas, y también se registro en la población San Salvador de Arriba, del municipio de Francisco I Madero, Coahuila, con una concentración promedio de arsénico en el agua de 0.411 mg/l, una prevalencia de lesiones cancerosas en la piel del 1.4% (Castro de Esparza, 2004; Swiecky, 2006).

## CONCLUSIONES

Los efectos a la salud basados en estudios epidemiológicos por la ingesta de arsénico en el agua plantean la necesidad de reevaluar los valores límites permisibles a 0.010 mg/l, tal como lo establece la Organización Mundial de la Salud (OMS).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2005. Lo que se dice del agua. Talleres Gráficos de México. México.
- Díaz-Barriga, F. 1999. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. CEPIS/OPS/OMS. OPS/CEPIS/PUB/99.34. Lima Perú. pp. 23-42.
- CEPIS/OPS. 200. Hojas de divulgación Técnica ISSN: 10185119, HDT-No.95. Arsénico en el agua de bebida de América Latina y su efecto en la salud pública, Agencia de asesoría regional en aseguramiento de la calidad y servicios analíticos.
- Cebrián, M. E., A. Albores, M. Aguilar, E. Blakely. 1983. Chronic arsenic poisoning in the north of Mexico. *Human Toxicology* 2: 121-33.
- Petkova, S. V., Remoción de arsénico por sorción en minerales. Validación de los resultados en el campo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Chávez, S. M. 2010. Evaluación del riesgo por la presencia de contaminantes en el acuífero Valle del Guadiana. Tesis. CIIDIR-IPN Unidad Durango. México
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2005. Sinopsis del estudio de prospección geohidrológica y caracterización hidrogeoquímica en el acuífero Valle del Guadiana, Durango.
- Sherma, V., M. Sohn. 2009. Aquatic arsenic: toxicity, speciation, transformation and remediation. *Environment international* 35: 746-747.
- DOF, 2000. Modificación a la norma oficial mexicana NOM 127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación, 22 de noviembre de 2000.
- D'Ambrosio, M. C. 2005. Evaluación y selección de tecnologías disponibles para remoción de arsénico. IIº Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea y IVº Congreso Hidrogeológico Argentino. Río Cuarto, pp. 25-28.
- Lauwerys, R. R. 1988. Toxicología Industrial e Intoxicaciones Profesionales. Masson. Barcelona.
- Gómez-Caminero, A., P. Howe, M. Hughes, E. Kenyon, D. R. Lewis, M. Moore, J. Ng, A. Aitio, G. Becking. 2001. Arsenic and arsenic compounds Environmental Health Criteria 224. International Program on Chemical Safety IPCS-WHO, pp. 406.

- Sanchez-Peña, L. C., M. Morales, N. González, G. Gutierrez-Ospina, P. Petrosian, L. M. del Razo, M. E. Gosebatt. 2010. Arsenic species and As3mt expression in different mouse brain regions. *Environmental Research* 110: 428-434.
- Guha, M. D. N., A. B. K. Santra, J. Dasgupta, N. Ghosh, B. K. Roy, U. C. Ghoshal, J. Saha, A. Chatterjee, S. Dutta, R. Haque, A. H. Smith, D. Chakraborty, C. R. Angle, J. A. Centeno. 1999. Chronic Arsenic Toxicity: Epidemiology, Natural History and Treatment. In: *Arsenic: Exposure and health effects* (Eds: Chappell, W. R., C. O. Abernathy). Elsevier, pp: 335-347
- Swiecky, C. 2006. Epidemiología del hidroarsenicismo crónico regional endémico en la República Argentina. Estudio colaborativo multicéntrico. Asociación Toxicológica Argentina. Secretaría del Ambiente y Desarrollo Sustentable. Argentina.
- Castro de Esparza, M. L. 2004. Arsénico en el agua de bebida de América Latina y su efecto en la salud pública. Hojas de divulgación OPS/CEPIS. ISSN: 1018-5119.