

## ARSÉNICO EN EL AGUA DE BEBIDA DE AMÉRICA LATINA Y SU EFECTO EN LA SALUD PÚBLICA

María Luisa Castro de Esparza

Asesora Regional en Aseguramiento de la Calidad  
y Servicios Analíticos, CEPIS/OPS

### 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, Chile, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. Las concentraciones de arsénico en el agua, sobre todo en el agua subterránea, llegan en algunos casos hasta 1 mg/L. En países de otras regiones del mundo como India, Bangladesh, China y Taiwán el problema es mayor. De acuerdo con la información obtenida, en India hay alrededor de seis millones de personas expuestas, de las cuales más de dos millones son niños. En Estados Unidos

más de 350.000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que 0,5 mg/L de arsénico y más de 2,5 millones de personas reciben agua con tenores de arsénico mayores a 0,025 mg/L.

Se ha desarrollado el presente trabajo para dar a conocer la información reportada en América Latina sobre este problema ambiental y de salud pública, el cual requiere atención a fin de minimizar sus efectos y disminuir el arsenicismo en las zonas afectadas. Esta Hoja de Divulgación Técnica constituye una recopilación bibliográfica sobre la presencia de arsénico en el agua de bebida y sus efectos en la salud de las personas expuestas.

### PAÍSES AFECTADOS EN AMÉRICA

- Argentina
- Chile
- Perú
- México
- El Salvador
- Nicaragua
- USA
- Canadá

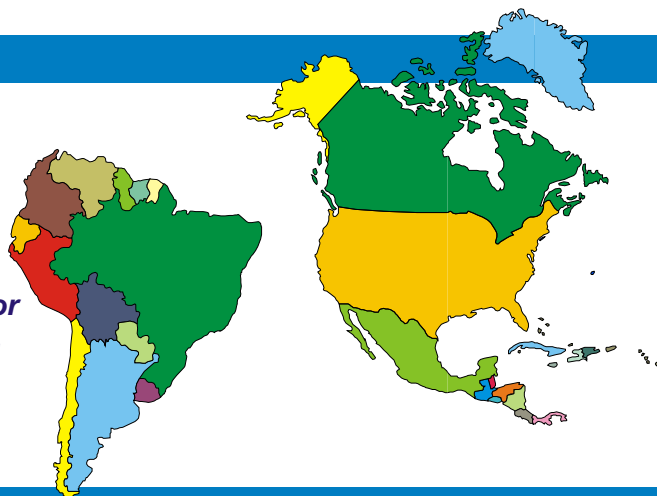


Figura 1  
Arsénico en América Latina



**Figura 2**  
**Origen geológico**  
**del arsénico**

## 2. ORIGEN DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE BEBIDA

En general, en América Latina la presencia del arsénico en el ambiente y específicamente en las fuentes de agua para consumo humano se debe tanto a factores naturales de origen geológico (México, Argentina, Chile, Perú) (*Sancha A. M., O’Ryan R., Marchetti., Ferreccio C. 1998*), como a la explotación minera y refinación de metales por fundición (Chile, Bolivia y Perú); a procesos electrolíticos de producción de metales de alta calidad como cadmio y cinc (Brasil) y en menor proporción, al empleo de plaguicidas arsenicales orgánicos (México) (*Cebrián M. E., Albores, G. García-Vargas, L. M., 1994*).

La presencia natural de arsénico en aguas superficiales y subterráneas de América Latina está asociada al volcanismo terciario y cuaternario de la cordillera de los Andes, proceso que continúa y que se muestra en flujos de lava, géiseres, fumarolas, aguas termales y fenómenos geotérmicos relacionados con el volcanismo del llamado “círculo de fuego del Pacífico”. Este volcanismo también ejerce influencia en algunas características de estas aguas como son pH

alto, alcalinidad variable, baja dureza, moderada salinidad y presencia de boro, flúor, sílice y vanadio.

Esta misma condición geológica ha determinado la presencia de importantes yacimientos de cobre, principalmente en Chile, Perú y Bolivia, cuya explotación y posterior fundición contribuye a aumentar los ya elevados niveles de arsénico ambiental.

Las condiciones geográficas de la zona, caracterizada por la altura, escasez de recursos hídricos y condiciones climáticas adversas ha limitado el desarrollo de grandes núcleos de vida urbana, por lo que en Perú, Bolivia y El Salvador, la población expuesta es menor que en el caso de Chile, Argentina y México.

El arsénico, tanto en las aguas superficiales como en las aguas subterráneas, proviene de la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas, la deposición atmosférica y en forma de aerosoles. En el agua 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.

En Argentina, la presencia de arsénico en el agua es de origen natural; las aguas subterráneas en las áreas afectadas presentan concentraciones de arsénico variables, que van de valores menores que 0,10 mg/L hasta valores mayores de 1 mg/L. La fuente de arsénico en las napas freáticas de la región central y norte del territorio argentino es de origen volcánico y en menor importancia la contaminación procede de la actividad agrícola (*Benitez, M., Osicka, R., Giménez, M., Garro., 2000*).

En México, la presencia de arsénico se debe a que está dentro del cinturón volcánico y tiene suelos ricos en arsénico que contaminan los mantos freáticos. Otra posible fuente de contaminación es el uso de plaguicidas organoarsenicales que se emplean desde antes de 1945.

En Chile, el arsénico se encuentra en todos los ecosistemas de la zona norte del país debido al volcanismo cuaternario. En Antofagasta, entre 1955 y 1970 se encontraron niveles de arsénico en el agua con una media de 0,598 mg/L; los valores actuales indican una media de 0,04 mg/L. (*Sancha A. M., O’Ryan R., Marchetti., Ferreccio C., 1998*).

En Bolivia, la fuente de agua más importante de La Paz antes de llegar a la planta potabilizadora recibe los escurrimientos provenientes de la zona minera de Milluni. En la zona metalúrgica urbanizada, donde se localizan tres pequeñas empresas (Calbol, Hormet y Bustos), se libera al ambiente 0,7% de arsénico. Se determinó que los suelos y el agua

potable contenían este elemento y los valores máximos se encontraron en un área de recreación cerca de la fundición Bustos (ECO/OPS-OMS, 1997).

En el Perú, la ciudad de Ilo emplea agua proveniente de la laguna de Aricota para el uso doméstico e industrial. Esa laguna tiene dos afluentes, el río Callazas y el Río Salado, que pasan por el volcán Yucamane, que al parecer es la fuente de contaminación. También existe exposición elevada a arsénico inorgánico en la fundición de minerales de La Oroya.

En Brasil se emplean alrededor de 1.500 toneladas de arsénico al año en la producción electrolítica del cinc y cadmio. Los desechos industriales y las emisiones atmosféricas de arsina son las principales fuentes de contaminación por arsénico. Las concentraciones de arsénico en los sedimentos fueron de 0,1 y 80 mg/kg, pero se encontraron concentraciones más elevadas cerca del punto de vertimiento del agua cerca de la ensenada Enseño (Barcellos, 1992). (ECO/OPS-OMS, 1993).

### 3. TOXICOLOGÍA DEL ARSÉNICO

Las principales rutas de exposición al arsénico son la ingesta e inhalación. El arsénico se acumula en el organismo por exposición crónica y, en ciertas concentraciones, ocasiona afecciones como alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y dilatación de los mismos) con efectos secundarios en el sistema nervioso, irritación de los sistemas respiratorio, gastrointestinal y hematopoyético, y acumulación en los huesos, músculos y hígado y, en menor grado en el hígado

do y los riñones. La evidencia epidemiológica señala que las personas que han ingerido arsénico inorgánico de manera prolongada, a través de agua de bebida, sufren de hiperqueratosis palmo-plantar, cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades en las palmas de las manos y pies. La presencia de arsénico en agua, su grado de contaminación y la incidencia de enfermedades de la piel en Argentina y México se describen en diferentes estudios.

En el agua de bebida, por lo general el arsénico se encuentra en la forma de arsenato y puede ser absorbido con facilidad en el tracto gastrointestinal en una proporción entre 40 y 100% (Frederick, P., Kenneth, B., Chien-Jen, C., 1994). El arsénico inorgánico ingerido pasa al torrente sanguíneo, donde se enlaza a la hemoglobina y en 24 horas puede encontrarse en el hígado, riñones, pulmones, bazo y piel. Los órga-

nos de mayor almacenamiento son la piel, el hueso y el músculo. Su acumulación en la piel se debe a la fácil reacción con las proteínas (con grupos de sulfhidrilo) (Health Canada, Ottawa, 1992).

Los cambios metabólicos del arsénico ocurren esencialmente en el hígado, donde los tioles endógenos tienen un papel crítico en la conversión del  $As^{+3}$  y  $As^{+5}$ . Al parecer, el glutatión (GSH) actúa como agente reductor. Las formas de  $As^{+3}$  resultantes pueden metilarse (oxidación y formación de metilarsénico ( $As^{+5}$ ) al aceptar este grupo funcional de la S-adenosilmetionina (ASM). El probable producto final de la metilación continua es el dimetilarsenato (DMA). Las especies de metilarsénico ( $As^{+3}$ ) y  $As^{+3}$  intermedias en el proceso pueden ser tóxicas e inhibir por ejemplo a la glutatión reductasa (GR), enzima clave en el metabolismo del GSH y cuya acción (GR) es crítica para mantener las reacciones redox



**Figura 3**  
**Hiperqueratosis palmar.** (Esparza, M. Transferencia de tecnología: abatimiento de arsénico en agua de bebida de zonas rurales)



**Figura 4**

**Queratosis en el talón de un pie (Lianfang W; Shenling, W.**  
Arsenic in water and its health effect. **En: Murphy, T.; Guo, J.**  
**Aquatic arsenic toxicity and treatment)**

propias de las células (*The National Academy of Sciences, 1999*).

En el organismo humano el  $As^{+3}$  y  $As^{+5}$  tienen diferentes mecanismos de acción. El  $As^{+5}$  muestra un comportamiento parecido al del fosfato, pero difiere con este en la estabilidad de sus ésteres. Los ésteres del ácido fosfórico son estables, lo que permite la existencia del ácido desoxirribonucleico (ADN) y la adenosina 5-trifosfato (ATP). En cambio, los ésteres ácidos de  $As^{+5}$  son hidrolizables. Las enzimas pueden aceptar al arsenato e incorporarlo en compuestos como el ATP, pero los compuestos análogos formados se hidrolizan inmediatamente, por ello, el arsenato puede inactivar el metabolismo oxidativo de la síntesis del ATP. En contraste, el  $As^{+3}$  tiene alta afinidad con los grupos tioles de las proteínas y puede inactivar una variedad de

enzimas, como la piruvato deshidrogenasa y 2-oxoglutarato deshidrogenasa (*Frederick, P., Kenneth, B., Chien-Jen, C., 1994; The National Academy of Sciences, 1999*). En cambio, el monometilarsenato (MMA) y el dimetilarsenato (DMA) no forman enlaces fuertes con las moléculas biológicas humanas. Esto explica por qué su toxicidad aguda es menor que la del arsénico inorgánico.

La cinética relacionada con la toxicidad del arsénico inorgánico, incluido el cáncer, aún no se ha establecido. La explicación más aceptable es la inducción a una anomalía cromosómica sin actuar directamente con el ADN.

El arsénico inorgánico ingerido es absorbido por los tejidos y luego se elimina progresivamente por mutación; su excreción ocurre en la orina a través de

los riñones. Cuando la ingestión es mayor que la excreción, tiende a acumularse en el cabello y en las uñas. Los niveles normales de arsénico en la orina, el cabello y las uñas son 5-40 g/día, 80-250 g/kg y 430-1080 g/kg, respectivamente (*The National Academy of Sciences, 1999*). La sensibilidad de las personas a los efectos tóxicos del arsénico inorgánico varía, dependiendo de la genética, metabolismo, dieta, estado de salud y sexo. Estos factores deben considerarse en la evaluación de riesgos a la exposición de arsénico. Las personas con mayor riesgo son las que tienen poca capacidad para metilar arsénico y por lo tanto lo retienen más; los más vulnerables son los niños y las personas con nutrición deficiente.

En algunas especies de mamíferos se ha demostrado que el arsénico inorgánico y orgánico son teratogénos y su administración oral afecta el crecimiento fetal y la viabilidad prenatal. Un suplemento con alto contenido de arsénico (por ejemplo, 350-4500 ng por gramo en la dieta afecta el crecimiento y la reproducción en los animales (*The National Academy of Sciences, 1999*). Los estudios han determinado que la orina es el mejor biomarcador para medir la dosis absorbida de arsénico inorgánico, ya que la sangre, cabello y uñas son menos sensibles a la exposición (*The National Academy of Sciences, 1999*).

**Arsenicismo.** El consumo de agua con arsénico no conlleva a casos con efectos agudos; los efectos de esta exposición son crónicos al ingerir pequeñas cantidades en el largo plazo.

En Bangladesh se reconocieron cuatro etapas en los cuadros de arsenicismo:

- ◆ **Preclínico:** el paciente no presenta síntomas, pero el arsénico se puede detectar en muestras de tejido y orina
- ◆ **Clínico:** etapa con efectos en la piel. Se oscurece la piel (melanosis) de la palma de la mano y también se pueden presentar manchas oscuras en el pecho, espalda, miembros y encías. Un síntoma más serio es la queratosis o endurecimiento de la piel en forma de nódulos en las palmas y las plantas de las manos y los pies. La OMS estima que esta etapa requiere una exposición al arsénico de 5 a 10 años.
- ◆ **Complicaciones:** se presentan síntomas clínicos más pronunciados y afectación de los órganos internos. Se ha reportado dilatación del hígado, los riñones y el bazo. Esta etapa también se ha vinculado con conjuntivitis, bronquitis y diabetes.
- ◆ **Malignidad:** hay desarrollo de tumores o cánceres que afectan

la piel pulmón o vejiga. En esta etapa, la persona afectada puede desarrollar gangrena.

En las dos primeras etapas si el paciente reemplaza la fuente de agua de bebida por una libre de arsénico, su recuperación es casi completa. En la tercera etapa puede ser reversible, pero en la cuarta ya no lo es (BCAS, 1997).

El tratamiento general es proporcionar al paciente agua de bebida libre de arsénico. El siguiente paso es monitorearlo y asegurarse de que no esté expuesto a este elemento. Otros tratamientos son la quelación y la mejora de la nutrición. En Bengala y Bangladesh se ha empleado la quelación, pero se desconoce si puede llegar a remover el arsénico unido a la piel y no asegura su efectividad si el paciente continúa con el consumo de agua contaminada. De acuerdo con las evidencias encontradas en Taiwán, los

factores nutricionales pueden modificar el riesgo de cáncer asociado al arsénico. La administración de vitaminas (A y suplementos multivitamínicos) y el mejoramiento de la nutrición pueden mejorar a los pacientes, sobre todo cuando hay afecciones de la piel.

#### 4. POBLACIÓN EXPUESTA Y ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

A continuación se presenta un resumen de los estudios epidemiológicos desarrollados en los países de América que tienen problemas de exposición al arsénico a través del agua de bebida.

**En Argentina.** El problema se conoce desde hace más de 50 años cuando epidemiólogos de Córdoba y otras provincias de ese país evidenciaron y asociaron daños a la piel con la presencia del arsénico en el agua de bebida. Las primeras manifestaciones patológicas se conocieron como la enfermedad de Bell Ville y luego como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE).

Se estima que la población expuesta al arsénico en un rango entre 0,002-2,9 mg/ L, es de 2.000.000 de habitantes (Sancha A. M., Castro de Esparza M.L., 2000). Las provincias más afectadas son Salta, La Pampa, Córdoba, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Santiago del Estero, Chaco y Tucumán (Pinedo M, Zigarán A., 1998).

Una de las zonas más afectadas es la provincia del Chaco. Las dolencias más evidentes han sido pigmentación de la piel, lesiones, hiperqueratosis, verrugas, melanosis, leucodermia, carcinoma de células basales, queratosis senil y alta incidencia de



**Figura 5**

**Cáncer en la parte posterior de la pierna (Lianfang W; Shenling, W. Arsenic in water and its health effect. En: Murphy, T.; Guo, J. Aquatic arsenic toxicity and treatment)**



**Figura 6**  
**Hiperqueratosis plantar. (Esparza, M. Transferencia de tecnología: abatimiento de arsénico en agua de bebida de zonas rurales)**

cáncer de vejiga y uretra. Se ha podido apreciar que en las intoxicaciones arsenicales, la queratosis predomina frente a la hiperpigmentación. Se presentaron casos de cáncer de piel y a los órganos internos (66% de ellos localizados en el pulmón). Los niveles de arsénico en el agua en esta zona, sobretudo en el barrio de San Martín, tienen valores mayores a 0,7 mg/L (Benitez, M., Osicka, R., Gimenez, M., Garro, O., 2000; ECO/OPS, 1993).

En la provincia de Santiago del Estero, desde 1983 se han reportado muertes asociadas al arsenicismo y según datos proporcionados por la Secretaría Técnica de Epidemiología, en esta provincia se han detectado casos graves en niños y mujeres (lesiones en la planta de los pies, brazos y tronco, melanoderma en brazos y tronco, lesiones palmares, leucoderma en el tronco anterior y posterior).

En la localidad de Mili, en 1997 se analizaron 71 muestras de agua subterránea y 52% presentaron altos valores de arsénico que alcanzó el valor máximo de 2,4 mg/L (Herrera, H., Farías, B., Martín, R., Cortés, J., Storniolo, A., Thir, J., 2002). En la localidad

de El Gran Porvenir, Departamento Banda, Santiago del Estero (474 habitantes), donde se tomaron muestras en 36 viviendas de un total de 103, se encontró que el agua contenía arsénico en niveles que van de 0,002 a 0,143 mg/L (19 muestras colectadas en forma aleatoria). De ellas, 57,89% muestran valores críticos. Si se considera que todas las muestras presentaron arsénico en niveles superiores a la norma y que más de 50% de los habitantes consumen esta agua, se puede apreciar que existe un problema de salud pública (De Paredes G., 1997).

Se estudió el metabolismo del arsénico inorgánico en niños de tres villas al norte de Argentina: San Antonio de los Cobres y Taco Pozzo, con concentraciones de arsénico en el agua de bebida de 0,2 mg/L, y Rosario de Lerma con 0,65 g/L. Los resultados mostraron que los niveles de arsénico en la sangre y orina de los niños de las primeras villas tuvieron concentraciones 10 a 30 veces más altas (0,009 y 0,38 mg/L) que las concentraciones en la sangre y orina de los niños de Rosario de Lerma. Los porcentajes más altos de arsénico inorgánico en la orina de los niños comparado con la de los adultos, indica que los niños

son más sensibles que los adultos (Concha, G., Nermeli, B., Vathter, M., 1998).

En la provincia de Córdoba, ubicada en la parte central del país, el agua presenta niveles mayores de 0,1 mg/L de arsénico, lo que aumenta el riesgo de enfermedades cancerígenas y alteraciones dérmicas. Entre los años 1986 y 1991 se realizaron estudios de mortalidad a causa del cáncer de vejiga, pulmón y riñón en 26 distritos clasificados de acuerdo con el contenido de arsénico en el agua. El nivel de arsénico en los sitios de exposición más alta (San Justo y Unión) fue de 0,178 mg/L. Los estudios demostraron una clara relación dosis-respuesta del contenido de arsénico en el agua y los riesgos de cáncer. Las tasas de mortalidad por cáncer de vejiga fueron de 2,14 para hombres y 1,82 para mujeres (95% confianza) en dos distritos con la más alta exposición. Las tasas de mortalidad por cáncer del pulmón, expresadas en tasas baja, media y alta, fueron de 0,92, 1,54, 1,77, respectivamente para hombres y 1,24, 1,34, 2,16 para mujeres. Algo parecido se registró para el cáncer del riñón: 0,87, 1,33, 1,57 para hombres y 1,00, 1,36, 1,81 para mujeres ( $p < 0,001$ ). En esos estudios no se encontró una clara relación entre el arsénico y la mortalidad por cáncer de la piel y del hígado (Hopenhayn-Rich, y col., 1996; Hopenhayn-Rich, C., Biggs, Smith, H., 1998).

Para actualizar el mapa de riesgo de arsenicismo e identificar las áreas críticas en la provincia de Córdoba, se zonificó el área según criterios geográficos en región occidental o de montaña y oriental o de llanura. Durante el estudio se colectaron 100

muestras de agua (origen subterráneo) de cuarenta localidades. Los departamentos identificados como críticos fueron San Justo, M. Juárez, Unión, Río Cuarto y Río Primero, donde se determinó que la tasa de mortalidad por cáncer al pulmón era mayor que la de otros cánceres. En la región oeste o montañosa, la tasa fue de 20,1%; en la región este o de Llanura 37,4%. El cáncer de piel tuvo un menor porcentaje (1,9 - 2,1%). Los otros tipos de cáncer fueron de próstata, colon, vejiga, riñón y laringe. Se observó que 57% de las localidades estudiadas presentaron concentraciones sobre los valores guía de la OMS (Pinedo M., Zigarán A., 1998).

Actualmente, en la Ciudad de Santa Fé, con el apoyo de la OPS y el ente regulador del servicio de agua se están realizando tres estudios: 1) El mapa de riesgo de 213 servicios de agua, 2) el estudio epidemiológico de hidroarsenicismo crónico regional endémico, y 3) correlación del arsénico en el agua potable y mortalidad por cinco cánceres asociados (Corey, G., 2000).

**En Chile.** La mayor contaminación ocurre entre los paralelos 1730' y 2605' de latitud sur y entre la longitud oeste 6700' y el Océano Pacífico. Las ciudades con exposición más alta son Antofagasta, Calama, Santiago, Rancagua, Taltal, Tocopilla y San Pedro de Atacama. La población expuesta a la contaminación por arsénico es de alrededor 500.000 habitantes. En Antofagasta, entre 1955 y 1970 se encontraron niveles de arsénico con una media de 0,598 mg/L. Los valores actuales indican una media de 0,040 mg/L (Sancha A. M., O'Ryan R., Marchetti., Ferreccio C., 1998).

De 1950 a 1993, en la Región II se realizaron estudios que mostraron la tendencia al riesgo de morir por diversos cánceres asociados al arsénico, principalmente el broncopulmonar, vesical y renal (Rivara, M., Corey, G., 1995). En 1970, las tasas de incidencia anual de dermatosis arsenical crónica fueron de 20 por 100 mil. Los niveles de arsénico en el cabello y la orina de las personas expuestas estuvieron por encima de los valores normales y un estudio que incluyó a 100 niños con dermatosis arsenical crónica detectó 19 casos del fenómeno de Raynaud (Finkelman, J., Corey, G., Calderon, R., 1993).

Entre 1994 y 1996, en la región norte de Chile (Arica, Iquique, Copiapó y Antofagasta) se llevó a cabo un estudio para relacionar la exposición al arsénico con el riesgo de contraer cáncer de pulmón. Se evaluaron los casos de cáncer de pulmón y dos controles hospitalarios (un control, un paciente con cáncer y el otro, un paciente sin cáncer; ambos diagnósticos no relacionados con el arsénico). Durante los 20 meses se ingresaron 151 casos de cáncer pulmonar y 419 controles (167 con cáncer y 242 sin cáncer). Se encontró una clara relación dosis-respuesta entre el promedio de arsénico y el riesgo de cáncer con OR (ajustados con un modelo de regresión lineal que incluía sexo, edad y tabaquismo) con 95% de confianza de 1, 1,7 (0,5-5,1), 3,9 (1,2-13,4), 5,5 (2,2-13,5) y 9,0 (3,6-22) para los estratos de niveles de arsénico de 0 a 0,40 mg/L (Ferreccio, C., González, C., y col., 1998).

En 1998 se hizo un estudio de análisis de riesgo relacionado con el arsénico, requerido en la regulación ambiental de tóxicos.

El proyecto consistió en el desarrollo de la línea base de agua, alimentos y aire. El muestreo para el agua y alimentos se llevó a cabo en todo el país y el muestreo de aire en la zona norte y central y estos fueron relacionados con la información de línea base nacional sobre ingesta e inhalación. La evaluación del impacto en salud de la exposición al arsénico se hizo a través de un estudio ecológico y un estudio de casos y controles mediante la relación con las tasas de muertes por cánceres asociados al arsénico (pulmón, vejiga, hígado, piel y riñón). Los resultados indicaron que en la zona norte el mayor aporte de arsénico a la exposición total proviene del agua potable (41,7% a 85,3%), lo que también sucede en Santiago y Rancagua (72,7% y 69,3%). En el sur, la dieta adquiere mayor importancia y en general la contribución del aire es de alrededor de 1%, con excepción de Copiapó donde es de 12,2%. En el norte se produce una mortalidad mayor por cánceres de pulmón, piel y vejiga. El estudio demuestra que los excesos de muertes en la zona norte se atribuyen en gran parte a la exposición al arsénico. Se reportaron riesgos relativos para diversos cánceres (vejiga urinaria, pulmón, hígado, riñón, laringe), enfermedades cardíacas, isquemias, enfermedades respiratorias crónicas y dermatosis arsenical crónica.

Smith et al. desarrollaron un estudio sobre lesiones en la piel de personas residentes de Atacama (Smith, A., y col., 2000). El estudio se realizó con once familias de la zona de Chiu Chiu, cuya agua de bebida contenía 750 a 800 g/L de arsénico y ocho familias de la villa de Caspana como grupo control. Los resultados señalaron que cuatro de los seis hombres que

bebieron agua contaminada con arsénico por más de 20 años presentaron lesiones en la piel; no se registró ningún caso en las mujeres mayores, pero si dos casos adicionales en adolescentes. La prevalencia de lesiones en la piel en estos pequeños grupos de población es comparable a la de Taiwán e India, donde la población es más susceptible, probablemente debido a su estado de nutrición. La población de la región de Atacama expuesta por tiempos prolongados no registra casos alarmantes; tal vez su resistencia se deba a la alimentación rica en vitamina A.

Se han efectuado estudios sobre las tendencias de la mortalidad infantil asociados a la exposición al arsénico en dos ciudades de Chile: Antofagasta y Valparaíso. El estudio fue retrospectivo para evaluar los patrones de tiempo y localización de la mortalidad infantil entre 1950 y 1996, con técnicas gráficas estadísticas univariantes y el análisis de regresión lineal de Poison. Los resultados indicaron altas tasas de mortalidad fetal, neonatal y postneonatal en Antofagasta, no así en Valparaíso. El análisis de regresión lineal indicó una asociación entre la exposición al arsénico y la mortalidad fetal, neonatal y postneonatal. Esos hallazgos indican, aunque no definitivamente, una asociación entre el arsénico y el incremento de la mortalidad infantil observada en Antofagasta (*Hopenhayn-Rich, y col, 2000*).

**En México.** Los primeros antecedentes de la contaminación con arsénico datan de 1962, cuando se notificaron 40 casos graves y una defunción en el sector urbano de Torreón, Coahuila. La presencia de arsénico en el agua de consumo humano es un problema

que se presenta en los acuíferos de Durango, Coahuila, Zacatecas, Morelos, Aguas Calientes, Chihuahua, Puebla, Nuevo León, Guanajuato, San Luis Potosí, Sonora y la Región Lagunera, donde se han detectado concentraciones superiores a lo señalado por la NOM-127SSA1 (0,05 mg As/L) (*Finkelman, J., Corey, G., Calderon, R., ECO, 1993; Avilés, M., Pardón, M. 2000*). Se estima un total de 450.000 habitantes expuestos.

Los estudios sobre arsénico se iniciaron en la Región Lagunera, entre los estados de Durango y Coahuila. En esa zona se encontró envenenamiento crónico con arsénico de carácter endémico y brotes extremos que afectaron a seres humanos y animales (*Rasmussen, L., Jebjerg, K., OMS, 1975*). Un estudio sobre la contaminación con arsénico en 128 pozos de agua en 11 distritos detectó un rango de 0,008 a 0,624 mg/L; más de 50% de las muestras tuvieron niveles mayores de 0,05 mg/L. Se estimó que alrededor de 400 000 individuos estuvieron expuestos al arsénico a través del agua de bebida, con concentraciones mayores de 0,05 mg/L. Estas evidencias permiten suponer que en el mediano plazo el arsénico puede ser un problema de salud pública. De esos grupos, un total de 489,634 habitantes enfrentan un riesgo individual carcinogénico máximo del orden de  $4,5 \times 10^{-2}$  a  $5,7 \times 10^{-2}$ ; un total de 609.253 enfrentan un riesgo entre  $5,2 \times 10^{-3}$  y  $4,1 \times 10^{-2}$  (*Vega Gleason, S., 2001*).

En la Región Lagunera se ha encontrado además de otros signos y síntomas de arsenicismo, 0,7% de prevalencia de la enfermedad del pie negro. Con el fin de establecer un sistema de vigilan-

cia epidemiológica en esa región se realizó el proyecto "Identificación de indicadores tempranos de riesgo para la salud derivados de la exposición al arsénico", que incluyó la evaluación del riesgo genotóxico y excreción urinaria de porfirinas y de derivados metilados de arsénico. El proyecto tuvo como propósito orientar las decisiones para establecer medidas de control del arsenicismo.

Actualmente, en México y Argentina, con el apoyo de OPS, se está desarrollando un estudio socioeconómico del impacto del arsénico en la salud pública y se está estudiando la viabilidad de las alternativas de remoción del arsénico en las fuentes de agua de bebida.

**En Perú.** En la zona sur existen áreas semidesérticas cuya población bebe agua de los ríos que se originan en los Andes y que fluyen hacia el Océano Pacífico. En algunos de estos ríos se han detectado trazas de arsénico, por ejemplo en el río Locumba (0,5 mg As/L), que atraviesa Puno y Moquegua (Valle de Ilo). La población expuesta a este elemento es de alrededor de 250.000 habitantes (*Castro de Esparza, 1989*).

En 1994 se hizo un estudio del contenido de arsénico en la vertiente del río Rímac y se analizaron 53 muestras de agua potable, de río, pozo y manantiales; se encontró que 84,9% sobrepasaban el límite recomendado por la OMS (*Infante, L., Palomino, S., 1994*). Sin embargo, no se han registrado casos de envenenamiento con arsénico. En 1999 se hizo otro estudio en las aguas de consumo de la provincia de Huaytará, Huancavelica, y de las 31 muestras analizadas se obtuvo un promedio de 0,0246 mg/L de



arsénico. La concentración más alta se registró en Pachac, probablemente debido a un establo donde se almacena abono y plaguicidas arsenicales (Flores, Y. Lima, 1999).

En el año 2002 se hizo una evaluación en el valle del río Locumba, el que presenta niveles de arsénico entre 0,4 a 0,2 mg/L. La población de este valle consume esta agua desde mucho tiempo atrás sin que se reporten de casos de arsenicismo. En la localidad de Puno se han reportado niveles de arsénico en pozos recientemente instalados (hasta 0,18 mg/L) y se va a hacer un estudio de evaluación de alternativas para la remoción de arsénico.

En Lima y Callao se realizó un monitoreo de la calidad del aire cerca de los depósitos de concentrados de minerales (Pb, Cu, Zn) a lo largo del año 2000, que consistió en la medición de material particulado, plomo y arsénico en PM<sub>10</sub> en ocho puntos. Los valores obtenidos para el arsénico estaban dentro del máximo nivel permisible dado por el Ministerio de Energía y Minas (6 mg/m<sup>3</sup>) (Iglesias, S., González, M., 2001).

**En Nicaragua.** En el año 2001, el UNICEF convocó a las instituciones nacionales e internacionales para un taller de trabajo que abordó la contaminación por arsénico a través del agua de consumo humano que enfrentan los pobladores de la comunidad de El Zapote y sus alrededores, en el Valle de Sébaco. En el encuentro se entregó un formulario para el registro de "atención de pacientes con arsenicismo", que debe ser llenado por el personal sanitario local. Se atendieron 111 personas con antecedentes de in-

gesta de agua contaminada con arsénico y se encontró que los pobladores que ingirieron mayores niveles de arsénico tenían parestesia, edema en miembros inferiores, ardor ocular, lesiones cutáneas y problemas respiratorios. También hubo queratosis e hiperpigmentación propias del arsenicismo crónico; dos pacientes tenían esplenomegalia e hipertensión y se vieron pocos casos de hepatomegalia y anemia.

Se recomendó establecer un programa de prevención, tratamiento y control del arsenicismo, que garantice la continuidad de la atención de esos pacientes y realizar una campaña de educación popular en las comunidades afectadas y sus alrededores (Gómez C., 2002; Gómez C., Alina. 2002).

En otro estudio realizado por el UNICEF se identificaron ocho áreas con niveles de arsénico superiores a los normales (Santa Rosa del Peñon, La Cruz de la India, Cerro Mina de Agua, Kinuma, El Mojón y Las Pilas) y se recomendaron estudios más detallados y sistemáticos y el uso de metodologías analíticas de más bajo costo (PIDMA/UNICEF, 2002).

**En Bolivia.** Las comunidades en riesgo se ubican en el Alto Lima II al norte de la ciudad de El Alto, en la provincia Murillo perteneciente al Departamento de La Paz, y la comunidad de Vinto ubicada en la ciudad de Oruro. El total de la población es de aproximadamente 20 mil personas. (ECO/OPS, 1997).

Un estudio en El Alto indicó que en niños de 5 a 7 años de edad, 70% de ellos superaron los límites para el arsénico en la orina.

Los efectos para la exposición infantil por la vía oral son las lesiones dérmicas y los signos neurológicos. Otra evaluación en la zona metalúrgica de Vinto, ubicada a 7 km de la ciudad de Oruro, determinó que las rutas de mayor importancia son el suelo, el agua y el polvo. La población de mayor riesgo son los niños y los efectos más probables son los neurológicos (ECO/OPS, 1997).

**En Brasil.** No se conocen zonas afectadas en forma natural; la exposición se debe a la actividad minero-metalúrgica. En 1982 y 1986 se llevaron a cabo dos estudios para evaluar la acumulación de arsénico en el cabello (As/C) en 84 mujeres del poblado Lamarao do Passe (Chaves, 1991). En 1986 se encontró un incremento de 11 veces las concentraciones de As/C (0,06 a 0,45 ppm) en relación con los resultados de 1982. Los niveles de arsénico en el aire fueron de 5,1 ng/m<sup>3</sup>.

También se llevó a cabo un estudio en 367 trabajadores de una fundición en el que se utilizó arsénico urinario total como índice de exposición. En el grupo con mayor exposición (procesamiento del mineral en la fundición), la concentración promedio fue de 0,0598 mg/L; 25% de este grupo presentó concentraciones mayores a 0,1 mg/L (ECO/OPS, 1993).

Se conoce la exposición al arsénico del poblado Lamarao do Passe, ubicada a 4 km de una fundidora de cobre (con viento a favor) y la bahía de Sepetiba, en la costa oeste de Río de Janeiro, contaminada con Cd, Cr, Pb y Zn, donde se ha detectado arsénico en el ambiente, sobre todo en una planta de fundición (ECO/OPS, 1993).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En América Latina hay cerca de cuatro millones ochocientos mil habitantes expuestos al arsénico por el agua de bebida. Consecuentemente, su salud se ve afectada y en países como México y Argentina lo consideran un problema de salud pública. El grupo de mayor riesgo son los trabajadores de la industria minero metalúrgica.

La población más afectada es la que está ubicada en el área rural, pues consume agua sin ningún tratamiento y desconoce el riesgo al que está expuesta. Para esta población se requiere que las autoridades de salud, ambiente y de saneamiento planifiquen los servicios de aprovisionamiento de agua y que lleven a cabo programas de prevención y control de riesgos del consumo del agua de bebida con niveles de arsénico superiores a los recomendados.

La ingestión crónica de As en el agua de bebida genera lesiones en la piel, como la hiperpigmentación y la hiperqueratosis palmo plantar; desórdenes del sistema nervioso; diabetes mellitus; anemia; alteraciones del hígado; enfermedades vasculares (enfermedades vasculares periféricas consistentes en infartos del miocardio y engrosamiento arterial); cáncer de piel, pulmón y vejiga (este último sobre todo en niños).

No se han demostrado los efectos del arsenicismo en la salud reproductiva humana; sin embargo, se sabe que el As puede pasar a la placenta. Pero para conocer sus efectos genotóxicos se requieren más estudios.

Los niños son más sensibles que los adultos a la toxicidad del As y son los más afectados por esta enfermedad por problemas de nutrición y precario saneamiento en las zonas rurales y pobres.

Se requiere investigar los efectos del arsénico en la salud de las poblaciones expuestas a bajas concentraciones, tanto en el agua como en otras vías de exposición.

Para abordar el problema del arsénico en zonas de riesgo se deben identificar los casos de arsenicismo, encontrar una fuente de agua libre de arsénico o la tecnología adecuada para su acondicionamiento, estudiar fuentes alternativas para su uso en el largo plazo, monitorear el progreso y proveer cuidado a los pacientes (incluidos suplementos vitamínicos, lociones para pacientes con queratosis, etc.) y monitorear periódicamente las fuentes de agua y la efectividad del tratamiento si fuera el caso.

Tanto los estudios epidemiológicos como los de remoción y el establecimiento de políticas, estrategias y estándares nacionales deben desarrollarse dentro de un marco conceptual y programático integrado, con la participación de los diferentes actores sociales.

Se recomienda desarrollar una capacidad analítica confiable y consistente para que se pueda lograr la comparabilidad de los resultados de los estudios desarrollados en el campo y en el laboratorio y contar con procedimientos analíticos estándares y validados con muestras de referencia que permitan asegurar la calidad de los resultados obtenidos.

Los organismos internacionales y las autoridades del sector salud deben hacer saber que el número de personas que sufren arsenicismo se incrementará si los métodos de mitigación no se implantan a tiempo. Es importante demostrar los efectos sociales y económicos que tiene el arsenicismo sobre las familias y cómo los métodos de mitigación pueden reducir la carga de esos efectos.

Un método alternativo de análisis y predicción sería aplicar una metodología de simulación, que permita hacer experimentos con modelos reales de una localidad afectada. El estudio deberá tener un componente de epidemiología y otro para evaluar los efectos socioeconómicos sobre la familia y la comunidad. También se deberá evaluar el costo de oportunidad en el caso de que no se efectúe la intervención.

**Agradecimiento.** Se agradece la participación de la Quim. María Wong (CEPIS) en la corrección del documento.

## 6. REFERENCIAS

**Avilés, M., Pardón, M. 2000.** *Remoción de arsénico de agua mediante coagulación-floculación a nivel domiciliario.* Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, FEMISCA, pp. 1-10.

**Bangladesh Centre for Advanced Studies. 1997.** Arsenic special issue. *BCAS, Newsletter*, 8(1): 1-8.

**Benitez, M., Osicka, R., Gimenez, M., Garro, O. 2000.** *Arsénico total en aguas subterráneas en el centro-oeste de la provincia de Chaco.* Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Argentina.

- Calderón, R., Hudgens, E., Le, C., Schreinemachers, D., Thomas, D.** 1999. Excretion of arsenic in urine as a function of exposure to arsenic in drinking water. *Environ. Health Perspect.* 107(8): 663-667.
- Castro de Esparza, M.** 1998. Abatimiento de arsénico en aguas subterráneas para zonas rurales. *XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* Lima.
- Cebrián M. E., Albores A., García-Vargas G., Del Razo L. M.** 1994. Chronic arsenic poisoning in humans: the case of Mexico. *Arsenic in the environment. Part II: Human health and ecosystem effects.* pp. 94-100. México.
- Concha, G., Nermeli, B., Vathter, M.** 1998. Metabolism of inorganic arsenic in children with chronic high arsenic exposure in northern Argentina. *Environ. Health Perspect.* 106(6):355-359.
- De Paredes G. A. S.,** 1997. *Trabajo de investigación sobre hidroarsenicismo (HACRE).* Provincia de Santiago del Estero, Argentina.
- ECO/OPS.** 1997. *Evaluación de riesgos para la salud en la población expuesta a metales en Bolivia.* Metepec; ECO, México.
- Environmental Health Directorate of Health Canada.** 1992. *Arsenic guidelines for Canadian drinking quality.* p. 1-9. Ottawa, Canadá.
- Ferreccio, C., Gonzales, C., Milosavjevic, V., Marshall, G., Sancha, A., Smith, A.** 2000. Lung cancer and arsenic concentrations in drinking water in Chile. *Epidemiol.* 11(6):673-679, Nov.
- Ferreccio, C., Gonzalez, C., Milosavjevic, V., Marshall, G., Sancha, A.** 1998. Lung cancer and arsenic exposure in drinking water: a case-control study in northern Chile. *Cad. de Saúde Pública,* Rio de Janeiro, 14(Sup. 3): 193-198.
- Finkelman, J., Corey, G., Calderón, R.** 1997. *Epidemiología ambiental, un proyecto para América Latina y el Caribe.* Metepec; ECO, México.
- Flores, Y.** 1999. *Análisis químico toxicológico y determinación del arsénico en aguas de consumo directo en la provincia de Huaytará, Departamento de Huancaavelica.* Tesis (Lic.), UNMSM. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Título de Químico Farmacéutico. Lima.
- Frederick, P., Kenneth, B., Chien-Jen, C.** 1994. Health implications of arsenic in drinking water. *Journal AWWA,* 86(9):52-63.
- Gómez C., Alina.** 2002. Monitoreo y atención de intoxicados con arsénico en el Zapote, Municipio de San Isidro, departamento de Matagalpa, Nicaragua 1994-2002. *En UNICEF. El arsénico y metales pesados en aguas de Nicaragua.*
- Hering, J., Chen, P., Wilkie, J., Elimelech, M., Liang, S.** 1996. Arsenic removal by ferric chloride, *Journal AWWA,* 88(4):155-167.
- Herrera, H., Farías, B., Martín, R., Cortés, J., Storniolo, A., Thir, J.** 2002. *Origen y dinámica del arsénico en el agua subterránea del dpto. Robles-provincia de Santiago del Estero,* Universidad Nacional de Santiago del Estero (citado 2004 jun. 12) <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/congreso/28herrera.pdf>
- Hopenhayn-Rich, C., Biggs, M., Fuchs, A., Bergoglio, R., Tello, E., Nicolli, H., Smith, H.** 1996. Bladder cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Argentina. *Epidemiology.* 7; 117-124.
- Hopenhayn-Rich, C., Biggs, Smith, H.** 1998. Lung and kidney cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Cordoba, Argentina. *International Journal of Epidemiology.* 27:561-569.
- Hopenhayn-Rich, C., Browning, S., Hertz-Picciotto, I., Ferreccio, C., Peralta, C., Gibb, G.** 2000. Chronic arsenic and risk of infant mortality in two areas of Chile. *Environ. Health Perspect.* 108(7):667-673.
- Iglesias, S., González, M.** 2001. Situación de la contaminación atmosférica en Lima metropolitana y Callao. *Rev. Inst. Inv. Fac. Geo., Min. Metal. y C. Geo.* vol. 4, No 7.
- Infante, L., Palomino, S.** 1994. *Cuantificación espectrofotométrica de arsénico en aguas de consumo humano en la vertiente del río Rímac.* Tesis (Lic.), UNMSM. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Título de Químico Farmacéutico. Lima.
- Kirchmer, C.; Castro de Esparza, M.L.** 1978. *Remoción de Arsénico en aguas con alto contenido de Magnesio.* CEPIS, Lima.
- Lewis, D., Southwick, J., Quillet-Hellstrom, R., Rench, J., Calderón, R.** 1999. Drinking water arsenic in Utah: a cohort mortality study. *Environ. Health Perspect.* 107(5), 359-365.
- Murphy, T., Guo, J.** 2003. *Aquatic arsenic toxicity and treatment.* Leiden.

- Nicolli H. B., Suriano J. M., Gomez M. A., Ferpozzi L. H., Baleani O. A.** 1989. *Groundwater contamination with arsenic and other trace elements in an area of the Pampa, province of Córdoba, Argentina.*
- OMS,** 2000. Towards an assessment of the socioeconomic impact of arsenic poisoning in Bangladesh. En *Water Sanitation and Health, Geneva.*
- PIDMA/UNICEF.** 2002. Puntos de abastecimiento de agua contaminada por arsénico y plomo identificados en Nicaragua en julio del 2002. En *UNICEF. El arsénico y metales pesados en aguas de Nicaragua.*
- Pinedo M., Zigarán A.,** 1998. Hidroarsenicismo en la provincia de Córdoba, actualización del mapa de riesgo e incidencia. *XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* Lima.
- Rivara, M., Corey, G** 1995. Tendencia del riesgo a morir por cánceres asociados a la exposición crónica al arsénico. II Región Antofagasta, 1950-1993. *Cuad. Med. Soc.* (36)4: 39-51, 1995.
- Sancha A. M., O’Ryan R., Marchetti., Ferreccio C.** 1998. Análisis de riesgo en la regulación ambiental de tóxicos: caso del arsénico en Chile. *XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* Lima.
- Sancha A. M.; Castro de Esparza M. L.** 2000. *Arsenic status and handling in Latin America.* Univ. Chile, Grupo As de AIDIS/DIAGUA, CEPIS/OPS, Lima.
- Sancha, A. M.** 2000. Removal of arsenic from drinking water supplies: Chile experience. *Water Supply*, 18(1/2):621-625.
- Smith, A., Arroyo, A., Mazumder, G., Kosnett, M., Hernandez, A., Beeris, M., Smith, M., Moore, L.** 2000. Arsenic-induced skin lesions among Atacameño people in northern Chile despite good nutrition and centuries of exposure. *Environ. Health Perspect.* 108(7):617-620.
- Smith, A., Lingas, E., Rahman, M.** 2000. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bull. World Health Organization*, 2000, 78(9), 1093-1103.
- Solsona, F.** 1986. *Solución al problema del hidroarsenicismo en la Región Lagunera (Coahuila y Durango), México.* México, OPS/OMS.
- The National Academy of Sciences.** 1999. *Arsenic in drinking water.* National Academy Press, Washington, 1999. (Citado 2004 jun. 12) <http://books.nap.edu/books/0309063337/html/1.html>
- Vega Gleason, S.** 2001. *Riesgo sanitario ambiental por la presencia de arsénico y fluoruros en los acuíferos de México.* Comisión Nacional del Agua, Gerencia del Saneamiento y Calidad del Agua, México D.F.
- Viraraghavan, T., Subramanian, S., Swaminathan, V.** 1994. Drinking water without arsenic: a review of treatment technologies. *Environ. Syst. Rev.* N 37.

## HOJAS DE DIVULGACIÓN TÉCNICA

### CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE

Los Pinos 259, Urb. Camacho, Lima 12

Casilla 4337, Lima 100, Perú

Teléfono: (51 1) 437-1077

Fax: (51 1) 437-8289

[cepis@cepis.ops-oms.org](mailto:cepis@cepis.ops-oms.org)

[www.cepis.ops.oms.org](http://www.cepis.ops.oms.org)