



INGESTA DE ARSÉNICO DE AGUA POTABLE EN LA POBLACIÓN DE HERMOSILLO, SONORA

INTAKE OF ARSENIC FROM DRINKING WATER IN HERMOSILLO, SONORA POPULATION

Dolores Alicia Vásquez Del Castillo¹, María Guadalupe Burboa-Zazueta¹, Miguel Ángel Valdés-Covarrubias², Jason Roberge³, Robin Harris⁴ y Luis Enrique Gutiérrez-Millán^{1*}

¹Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS), Universidad de Sonora, Luis Donaldo Colosio entre Reforma y Sahuaripa s/n, C.P.83000, Hermosillo, Sonora, México | ²Departamento de Física, Universidad de Sonora, Edificio 3-G, Campus U.R.C., UNISON, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México | ³Department of Epidemiology and Biostatistics, Mel and Enid Zuckerman College of Public Health, The 15 University of Arizona, Tucson, AZ 85724, USA. ⁴Division of Epidemiology and Biostatistics, Mel and Enid Zuckerman College of Public Health, The 25 University of Arizona, Tucson, AZ 85724, USA.

ABSTRACT

The study was designed to evaluate arsenic (As) in the drinking water distribution in Hermosillo, Sonora, México, and to analyze the profiles of urinary As metabolites in two communities of the population, in order to provide background data for association studies related to health. Households were recruited from two communities that had been selected for their varying groundwater As concentrations. We obtained socio-demographic and lifestyle characteristics and water was collected from all household drinking sources. Total concentrations of As in urine and water samples were determined using ICP-MS analysis. Speciation analysis of the urine samples were performed using HPLC. The mean concentration of total As in drinking water was 8,8 µg/L and 26,4 µg/L for the two communities. The mean concentration of urinary total As was 74,2 µg/L and 47,2 µg/L and the mean concentration of urinary inorganic As was 37,7 µg/L and 26,4 µg/L respectively for the two population groups studied. The sum of urinary As species were significantly different between the two communities ($p < 0,01$). No significant differences were shown in relation DMA/MMA or percentage MMA between communities. Other contributors to urinary As concentrations should be evaluated.

Keywords: Drinking water, arsenic, urinary arsenic, intake, metabolite

RESUMEN

Este estudio fue diseñado para evaluar la distribución de arsénico (As) en el agua potable de Hermosillo, Sonora, México y analizar los perfiles de metabolitos de As urinario en dos comunidades de la población, con el fin de proporcionar datos de referencia para estudios de asociación relacionados a la salud. Hogares de dos comunidades fueron seleccionadas por sus diferentes concentraciones de As en el suministro de agua potable. Se obtuvieron características socio-demográficas y de estilo de vida de la población y muestras de agua de todas las fuentes de los hogares. Las

concentraciones totales de As en muestras de orina y del agua se determinaron utilizando ICP-MS. Los análisis de especiación de las muestras de orina se analizaron utilizando HPLC. La concentración media de As total en el agua potable fue de 8,8 µg/L y 26,4 µg/L, para las comunidades estudiadas. La concentración media de As total urinario fue de 74,2 µg/L y 47,2 µg/L y la del As inorgánico urinario fue de 37,7 µg/L y 26,4 µg/L, respectivamente para los dos grupos de población. La suma de las especies de As urinarias fue significativamente diferente entre las dos comunidades ($p < 0,01$). No se mostraron diferencias significativas en la relación DMA/MMA o el porcentaje de MMA entre las comunidades. Deberían evaluarse otros factores que contribuyan a las concentraciones de As urinario en la población.

Palabras clave: Agua potable, arsénico, arsénico urinario, ingesta, metabolito

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un metaloide ampliamente distribuido en la corteza terrestre, y presente en una concentración promedio de 2 mg/kg de suelo. Se encuentra en pequeñas cantidades en rocas, suelo, agua y aire (ATSDR, 2000). El As está clasificado como un carcinógeno humano conocido y está entre los 20 principales materiales peligrosos seleccionados por la Environmental Protection Agency (EPA) (ATSDR, 1997; IARC, 1987). El As puede existir en cuatro estados de valencia; -3, 0, +3 y +5. Las formas de As disueltas en el agua son el arseniato (As (V)), el arsenito (As (III)), ácido monometilarsónico (MMA) y el ácido dimetilarsínico (DMA). En condiciones reductoras, el arsenito es la forma dominante; el arseniato se encuentra generalmente en estado de oxidación estable en ambientes oxigenados. Algunas especies de As como el As (III) y As (V) pueden intercambiar estados de oxidación en función de Eh, pH y procesos biológicos. En la naturaleza, los minerales que contienen As sufren una oxidación y éste se libera al agua (IARC, 2004).

*Autor para correspondencia: Luis Enrique Gutiérrez-Millán
Correo electrónico: legtz@guaymas.uson.mx.

Recibido: 18 de octubre de 2012

Aceptado: 5 de febrero de 2013

La exposición ambiental al As es un problema importante de salud pública que afecta a millones de personas en todo el mundo. La exposición crónica al As a través del agua potable se ha asociado con el desarrollo de varias enfermedades cancerosas y no cancerosas, incluyendo el cáncer de piel, diabetes, neuropatía y enfermedad cardiovascular (Yu, *et al.*, 2000; Tseng, *et al.*, 2002; Hafeman, *et al.*, 2005; Balakumar y Kaur, 2009). La diversidad de los efectos negativos a la salud inducidos por la exposición al As añade complejidad a la comprensión de su toxicidad, y el mecanismo subyacente por el cual el As induce estos efectos. Pocos estudios han analizado los efectos del consumo de As del agua potable en el nivel máximo permitido (10 µg/L), establecido por la EPA en Estados Unidos en 2006 (EPA, 2006).

En México, en la actualidad el nivel máximo permisible para el As en agua es de 25 µg/L, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (Modificación a la NOM-127SSA-1-2000). En Sonora, se han reportado altos niveles de As en el agua potable de Magdalena, Caborca, Etchojoa y en Hermosillo, con concentraciones totales de 117, 67, 51 y 305 µg/L respectivamente (Wyatt, *et al.*, 1998). Además en Hermosillo, el As en el agua potable ha sido correlacionado a la aparición de As en la orina de niños, pero no existe información sobre un posible riesgo en la salud de la población adulta, quienes han sido crónicamente expuestos a bajos niveles de As (Meza, *et al.*, 2004).

Con base en los antecedentes anteriormente expuestos, el objetivo de este estudio fue determinar las concentraciones de As en el agua potable de Hermosillo, Sonora, México y de los metabolitos de As urinarios en la población, con el fin de proporcionar datos de referencia para estudios de asociación relacionados a la salud en la población hermosillense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio tiene un diseño de sección transversal, y los protocolos experimentales fueron aprobados por el Human Subject Committee de la Universidad de Arizona y revisados por el Departamento de Salud Ambiental del Estado de Sonora, México. Todos los participantes firmaron formas de consentimiento para participar en el estudio.

Reclutamiento

Para decidir a las comunidades para el reclutamiento se requirió primeramente de analizar las concentraciones de As en muestras del agua potable de 41 tanques de distribución en la ciudad de Hermosillo, los cuales fueron ubicados en un mapa de la ciudad proporcionado por Agua de Hermosillo (AGUAHH). En cada tanque se tomó una muestra de agua de 40 mL, y se almacenaron en botellas de polipropileno a -80 °C hasta realizar el análisis de As total.

La selección de las dos comunidades para llevar a cabo el estudio se hizo de acuerdo a los resultados de la concentración de As en el agua potable de la ciudad y se definieron

a partir de la información del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), que divide a la ciudad en estadística básica Áreas Geo (AGEB), que se dividen a su vez en zonas.

Se seleccionaron 50 hogares al azar por cada zona elegida, reclutándose a través del contacto de puerta a puerta al menos dos individuos mayores de 18 años (mujeres y/o hombres) por medio de visitas a los hogares invitándoles a participar. Se registró cada dirección dentro del límite de la zona como un simple expediente en una hoja de cálculo (EXCEL de Microsoft).

Todas las personas que habían vivido en la casa durante al menos un año continuo y tenían al menos 18 años de edad fueron elegibles para participar. A todos los participantes en el hogar se les preguntó sobre datos demográficos, tabaquismo, consumo de alcohol, ocupación, trabajo y pasatiempo, historial de salud (por ejemplo, diabetes, enfermedades respiratorias, cáncer, etc.), uso de medicamentos y suplementos, historia reproductiva, actividad física e historia residencial.

Los participantes también informaron de todas las fuentes de agua utilizadas para cocinar y beber en el hogar (agua del grifo de la cocina, agua embotellada, etc.) y la frecuencia de uso de cada fuente de agua (frecuente, rara vez, nunca). Se registró la principal fuente de agua potable (agua de pozo, agua municipal, etc.) así como la presencia de un dispositivo de filtración de agua (ósmosis inversa, filtro de carbón, etc.) en el hogar. Todas las muestras de agua y de orina se obtuvieron durante las visitas domiciliarias.

Obtención de Muestra de Agua en los Hogares

Se colectaron muestras de agua específicamente en el registro del suministro de agua de cada uno de los hogares seleccionados al azar de cada AGEb las cuales se almacenaron en tubos de polipropileno cónicos de 50 mL sin acidificación y se mantuvieron en hielo hasta el laboratorio.

Obtención de la Muestra Urinaria

A los participantes se les suministró una botella de polipropileno de 100 mL para la muestra de la primera orina de la mañana y las instrucciones para la recogida de un día antes de la entrevista. Las muestras de orina fueron llevadas al laboratorio y almacenadas a -80 °C hasta el día que se realizó el análisis.

Análisis de As (arsénico) Total en Agua

Los análisis de As se realizaron en el laboratorio de Analytical Section of the Hazard Identification Core de la Universidad de Arizona. Las concentraciones de As de agua fueron analizadas por duplicado con un espectrómetro de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS Agilent 7500ce; Agilent Technologies, Inc., Santa

Clara, CA), equipado con un sistema de ASX500 (Tecnologías CETAC) integrado con un sistema de nebulizador MicroMist. Los parámetros de operación fueron los siguientes: Rfpower, 1500 vatios; flujo de gas de plasma, 15 L/min; portador de flujo de gas, 0,85 L/min; gas auxiliar, 0,15 L/min. Los parámetros de adquisición fueron los siguientes: As medido a 75 m/z, terbio (IS) medido en 159,3 m/z puntos por pico, el tiempo de permanencia para el As fue de 1,5 s y el tiempo de permanencia para el terbio fue de 1,5 s y 7 repeticiones. Para fines de control de calidad se utilizó agua de referencia estándar, SMR 1640 (NIST, Gaithersburg, MD). El análisis de este material por ICP-MS produjo 26,71 +/- 0,41 ppb.

Análisis de As Total y Especies de As Urinarios

Las muestras de orina fueron digeridas con ácido nítrico concentrado en una bomba de Teflón Savillex 24 7 1300 w, seguido por dilución con agua Milli-Q (resistividad: M Ω 18,2 cm (25 °C), de acuerdo con el método 3015 de la EPA (EPA, 1995). El procedimiento fue el siguiente: Se colocó una porción de la orina digerido en un vial de 0,45 NANOSEPMF por filtración a temperatura ambiente. Las muestras filtradas se colocaron en viales de polipropileno de 1 mL. Estos viales se colocaron en el sistema de HPLC que consistió en un Agilent 1100 HPLC (Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA) con una columna C18 de fase inversa (ODS), 150 x 4,60 mm, (Phenomenex, Torrance, CA) a una temperatura de 4 °C, de donde se tomaron 0,45 µL de muestra. Los metabolitos de As (AsIII, AsV, MMAV, y DMAV) se midieron con un Agilent 7500ce ICP-MS (Agilent Technologies, Inc.) equipado con un sistema de introducción de muestras integrado ASX500 (Tecnologías CETAC). Los parámetros de operación fueron: Rfpower, 1500 vatios, flujo de gas de plasma, 15 L/min; porter flow, 0,85 L/min; componente de gas, 0,15 min. Los parámetros de adquisición fueron: As medido, 75 m/z, terbio medido (IS), 159,3 m/z puntos por pico, tiempo de retención de As, 1,5 s, tiempo de retención de Tb, 1,5 s, y fueron 7 repeticiones. La fase móvil consistió en: 4,7 mM de hidróxido de tetrabutilamonio, ácido malónico 2 mM y metanol al 4% (v/v) a pH 5,85. Los parámetros de operación y adquisición fueron los mismos que para el análisis de As total.

Los resultados incluyeron concentraciones de As total, metabolitos inorgánicos de As: AsIII y AsV y los metabolitos orgánicos de As: ácido metilarsónico (MMAV), y ácido dimetilarsónico (DMAV). Los análisis de los metabolitos de As como son el MMAIII y DMAIII no fue posible realizarlos debido a su naturaleza inestable. Los límites de detección de los metabolitos de As son los siguientes: As total 0,1 µg/L, AsIII 0,12 µg/L, AsV 0,21 µg/L, MMAV 0,12 µg/L, y DMAV 0,12 µg/L.

Análisis Estadísticos

Las características demográficas y estilo de vida de los participantes por AGEB se presentan como porcentajes. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para detectar

diferencias entre los valores. Se estableció un nivel de significancia $p < 0.01$. Se realizaron análisis estadísticos para el As urinario total, As inorgánico, la relación de DMA/MMA, y el porcentaje de MMA. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa STATA (versión 9,0, College Station, TX, USA) y el programa JMP (versión 5.0.1a, SAS Institute Inc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentraciones de As en el Agua Potable de Hermosillo

De acuerdo con estos resultados, la zona más baja en cuanto a concentración de As en el agua potable fue el AGEB 587-6 "Ampliación Los Olivos" suministrada por el tanque Palo Verde y la de mayor concentración de As fue el AGEB 504-3 "Bachoco" suministrada por el tanque Bachoco I y II, mismos que fueron seleccionados para llevar a cabo el estudio. La Tabla 1 muestra los resultados de dichas concentraciones de As (ppb) en el agua potable de la ciudad.

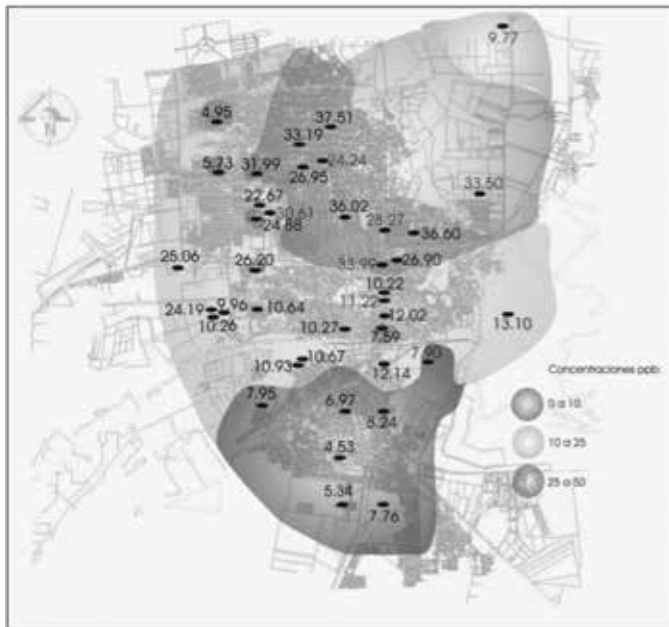
Tabla 1. Concentraciones de As total (ppb) en el agua potable de los tanques de mezcla y distribución en Hermosillo
Table 1. Total As concentration (ppb) in drinking water of mixing tanks and distribution in Hermosillo

| Tanque de distribución | As Total (ppb) | Tanque de distribución | As Total (ppb) |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| 01 5 de Febrero | 12,02 | 28 Fracc. Plaza Real | 24,88 |
| 02 Penitenciaría | 07,59 | 29 San Francisco | 13,09 |
| 03 Puebla I y Puebla II | 11,22 | 30 Sahuaro Final | 25,06 |
| 04 Campana | 10,27 | 31 Fracc. Sahuaro | 26,20 |
| 05 Kino | 22,67 | 32 Valle Dorado | 24,19 |
| 07 Los Olivos | 24,24 | 33 La Manga | 09,38 |
| 09 Bachoco I y II | 37,51 | 34 El Llano | 09,96 |
| 10 Periféricos I, II y III | 28,27 | 35 Colonia de los maestros | 13,10 |
| 11 Café Combate | 36,60 | 36 Capistrano Residencial | 10,26 |
| 12 Constitución | 07,95 | 37 Santa Fe | 12,12 |
| 13 Piedra Bola | 08,24 | 38 Las Quintas | 10,64 |
| 14 Cementera | 12,14 | 39 Fuentes del Mezquital | 10,93 |
| 15 Palo Verde | 04,52 | 40 Las Granjas | 10,67 |
| 16 San Luis | 26,90 | 41 Pueblitos | 04,95 |
| 17 Akiwikis | 06,97 | 42 Solidaridad | 05,73 |
| 19 Caja Repartidora | 33,99 | 43 Norberto Ortega | 31,99 |
| 20 Potabilizadoras I y II | 07,89 | 44 Primero Hermosillo | 30,71 |
| 24 Ranchito | 10,22 | 45 Y Griega | 05,34 |
| 25 Rebombado de aguas negras | 33,19 | 46 Cuauhtémoc | 07,72 |
| 26 San Pedro | 09,77 | 47 La Marqueza | 07,76 |
| 27 La Victoria | 33,50 | | |

Con las concentraciones obtenidas de As total de los análisis de agua de los tanques de distribución se realizó un mapa de la ciudad señalando las zonas de concentración de As en el agua potable. En la Figura 1 se muestran claramente tres zonas de concentración de As en la ciudad: la zona norte, cuyos valores exceden el máximo recomendado por la NOM, 2000, es decir > 25 ppb, la zona centro, que presenta valores intermedios y que son menores al establecido por la NOM, pero mayores que el recomendado por la EPA en los Estados Unidos (≤ 10 ppb y ≤ 25 ppb) y la zona sur con concentraciones de As por debajo del límite oficial de la EPA (menos de 10 ppb). La presencia de este gradiente norte-sur en la concentración de As en el agua potable de Hermosillo se debe posiblemente al área de influencia de la zona de pozos del Tronconal y La Victoria, cuyas concentraciones de As han mostrado ser consistentemente altas y más aún en épocas de sequía, según datos no publicados de la Dra. Mercedes Meza (ITSON, comunicación personal).

Los valores promedio de As reportadas con anterioridad para los pozos del Tronconal y la Victoria son de 117 y 305 $\mu\text{g/L}$, respectivamente (Wyatt, *et al.*, 1998).

Figura 1. Concentraciones de As total en el agua potable (ppb) de los tanques de mezcla y distribución en Hermosillo
Figure 1. Total As concentration (ppb) in drinking water of mixing tanks and distribution in Hermosillo



Reclutamiento

Para este estudio se seleccionaron 225 casas habitación (104 del AGEB 587-6 y 121 en el AGEB 504-3), de las cuales solo participaron 50 casas de cada zona. Al menos una persona por hogar fue invitado a participar. Un total de 108 personas fueron elegidas para el estudio (Tabla 2). En el AGEB 587-6 se reclutaron un total de 55 participantes, uno de los participantes fue eliminado debido a alteraciones

físicas en el manejo de las muestras, quedando un total de 54 personas (40 mujeres y 14 hombres). En el AGEB 504-3 se reclutaron 56 personas, dos de las cuales fueron eliminadas quedando un total de 54 personas (39 mujeres y 15 hombres). La participación de los hogares en el AGEB 587-6 fue del 55%, con una menor participación en el AGEB 504-3 que fue de 46%.

Tabla 2. Características del reclutamiento puerta a puerta en la Ciudad de Hermosillo

Table 2. Characteristics of recruitment door to door in the City of Hermosillo

| Característica | AGEB 587-6 "Ampliación Los Olivos" | AGEB 504-3 "Bachoco" |
|---|------------------------------------|----------------------|
| Hogares seleccionados para el reclutamiento | 104 | 121 |
| Hogares elegidos | 50 | 50 |
| Hogares que se negaron a participar | 41 | 59 |
| Hogares que no respondieron | 13 | 12 |
| Participantes seleccionados | 55 | 56 |
| Participantes no elegibles en el hogar | 1 | 2 |
| Total de participantes elegidos | 54 | 54 |
| Mujeres participantes elegidas | 40 | 39 |
| Hombres participantes elegidos | 14 | 15 |
| Porcentaje de participación* | 55% | 46% |

*Porcentaje de participación = Hogares reclutados/(Hogares reclutados + Hogares que se negaron a participar)

La Tabla 3 muestra la distribución de las características sociodemográficas entre los grupos de población. De los 108 participantes, la mayoría fueron mujeres (79 en total). La edad promedio fue de 39,6 y 43,3 para el AGEB 587-6 y AGEB 504-3, respectivamente. Los participantes del AGEB 587-6 presentan menor nivel educativo que los del otro grupo de estudio (diferencia significativa $p < 0,01$). Al comparar el Índice de Masa Corporal (IMC) de los dos grupos de estudio, se observó una diferencia significativa de $p = 0,03$, siendo mayor en los participantes del AGEB 587-6. Los porcentajes de personas que consumen o no consumen alcohol son similares en ambos grupos estudiados ($p = 0,50$). De igual manera, al comparar la condición de fumadores (actual, nunca, ex fumador) no se observó una diferencia significativa ($p = 0,34$) entre los dos grupos. En total 88 casas habitación, es decir el 81,5 % de

los participantes toman agua embotellada además de agua proveniente de la red de suministro (datos no mostrados). La ingesta media total de agua al día fue significativamente diferente ($p < 0,01$) entre los participantes del AGEB 587-6 (0,44 L/día), y del AGEB 504-3 (0,85 L/día).

Tabla 3. Características demográficas y estilo de vida de los participantes por AGEB

Table 3. Demographic and lifestyle characteristics of the participants by AGEB

| Características | AGEB 587-6 | | AGEB 504-3 | | p* |
|-------------------------|------------|-------------|------------|-------------|-------|
| Participantes, n (%) | 54 | (50) | 54 | (50) | |
| Genero, n (%) | | | | | <0,01 |
| Hombres | 14 | (25,9) | 15 | (27,8) | |
| Mujeres | 40 | (74,1) | 39 | (72,2) | |
| Edad en años (rango) | 39,6 | (18,1-73,0) | 43,3 | (20,0-75,1) | 0,05 |
| **IMC, n (%) | | | | | 0,03 |
| Normal | 20 | (37,0) | 25 | (46,3) | |
| Sobrepeso | 15 | (27,8) | 18 | (33,3) | |
| Obeso | 19 | (35,2) | 11 | (20,4) | |
| Educación, n (%) | | | | | <0,01 |
| Iletrado | 11 | (20,4) | 0 | | |
| Elemental | 39 | (72,2) | 11 | (20,4) | |
| Media y superior | 4 | (7,4) | 43 | (79,6) | |
| Fumadores, n (%) | | | | | 0,34 |
| Actual | 13 | (24,1) | 17 | (31,5) | |
| Nunca | 25 | (46,3) | 28 | (51,9) | |
| Ex fumador | 16 | (29,6) | 9 | (16,7) | |
| Consumo de alcohol (%) | | | | | 0,50 |
| Si | 27 | (50,0) | 32 | (59,3) | |
| No | 27 | (50,0) | 22 | (40,7) | |
| Consumo de agua (L/día) | | | | | <0,01 |
| Media (d.e.) | 0,44 | (0,36) | 0,85 | (0,42) | |
| Mediana | 0,38 | | 0,69 | | |

*Prueba de Kolmogorov-Smirnov ** IMC = Peso (kg)/altura (m); L = Litros; d.e. = Desviación Estándar

Concentraciones de As Total en Agua y Especiación de As Urinario

La distribución de las concentraciones de As el agua potable no filtrada que llega a los hogares seleccionados para el estudio se muestra en la Tabla 4. Las mayores concentraciones de As total e inorgánico urinario fueron detectadas entre los participantes del AGEB 504-3. Al comparar las concentraciones del As total urinario de los dos grupos de estudio, se observó una diferencia significativa ($p < 0,01$) siendo mayor en los participantes del AGEB 587-6 (mediana = 55,3 $\mu\text{g/L}$) que en los participantes del AGEB 504-3 (mediana = 33,3 $\mu\text{g/L}$). No se observó diferencia significativa al

comparar las medianas de las concentraciones de As inorgánico urinario entre ambos grupos de estudio. La suma de las especies urinarias fue significativamente diferente entre los dos grupos ($p < 0,01$). No hay diferencias significativas en la relación DMA/MMA o el porcentaje de MMA entre los grupos.

Tabla 4 Concentraciones de As total en el agua potable y concentraciones de As urinario entre los participantes por AGEB

Table 4 Total As concentrations in drinking water and urinary As concentration among participants by AGEB

| | AGEB 587-6 | AGEB 504-3 | p |
|---|-------------|-------------|--------|
| Hogares (n) | 50 | 50 | |
| As ($\mu\text{g/L}$) del agua potable no filtrada | | | |
| Media (d.e.) | 8,8 (1,9) | 26,4 (4,5) | <0,01 |
| Mediana | 9,0 | 26,6 | < 0,01 |
| Participantes (n) | 54 | 54 | |
| As Total urinario ($\mu\text{g/L}$) | | | |
| Media (d.e.) | 74,2 (65,5) | 47,2 (41,7) | 0,01 |
| Mediana | 55,3 | 33,3 | <0,01 |
| As inorgánico urinario ($\mu\text{g/L}$) | | | |
| Media (d.e.) | 37,7 (56,9) | 26,4 (34,4) | 0,21 |
| Mediana | 17,3 | 9,8 | 0,07 |
| Suma de especies de As ($\mu\text{g/L}$) | | | |
| Media (d.e.) | 36,5 (20,9) | 20,8 (11,6) | <0,01 |
| Mediana | 32,0 | 18,4 | <0,01 |
| Relación DMA/MMA | | | |
| Media (d.e.) | 7,3 (4,9) | 7,8 (4,3) | 0,58 |
| Mediana | 2,2 | 2,8 | 0,53 |
| Porcentaje de MMA | | | |
| Media (d.e.) | 9,2 (5,1) | 6,1 (3,2) | <0,01 |
| Mediana | 9,1 | 6,0 | <0,01 |

d.e. = desviación estándar; As inorgánico = $\text{As}^3 + \text{As}^5$; Suma de especies de As = $\text{As}^3 + \text{As}^5 + \text{MMA} + \text{DMA}$; Porcentaje de MMA = $(\text{MMA}/\text{Suma de especies de As}) \times 100$

Las limitaciones de este estudio incluyen el potencial sesgo de la selección de los participantes ya que en su mayoría eran mujeres. No se analiza la asociación entre el As ingerido en el agua y otras bebidas y la excreción de As en las personas. Una estrategia para describir mejor la asociación entre la ingesta de As del agua potable y el As urinario sería utilizar datos de las bases para desarrollar modelos predictivos que incluyan un examen detallado del impacto potencial de los líquidos y otros alimentos en la predicción de la concentración de As urinario.

CONCLUSIONES

La concentración de As en el agua potable de Hermosillo muestra un gradiente norte-sur, con las más altas

concentraciones en la zona norte (AGEB 504-3 "Bachoco") y las mínimas en la zona sur (AGEB 587-6 "Ampliación Los Olivos"). Sin embargo, estos valores no rebasan los límites establecidos por la EPA (EPA, 2006) y menos aún los de la Norma Oficial Mexicana (Modificación a la NOM-127SSA-1-2000).

A pesar de existir una mayor concentración media de As en el agua potable del AGEB 504-3, se presentaron mayores concentraciones promedio de As en la orina de los participantes del AGEB 587-6, debido tal vez a una fuente de contaminación distinta del agua. No obstante, en ambas comunidades se presentaron porcentajes ligeramente altos de As inorgánico y ligeramente bajos de DMA.

La concentración de metabolitos de As urinario varían de persona a persona, lo cual refleja la eficiencia del metabolismo del As. Parte de esta variabilidad interindividual en el metabolismo del As se puede asociar a factores medioambientales y a polimorfismos genéticos en las enzimas metilantes de As.

Los resultados del presente estudio deben ser interpretados con precaución, y obviamente, se necesita realizar una investigación más amplia que interprete las consecuencias sanitarias por la exposición al As en el agua potable de Hermosillo, Sonora, México.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional del Cáncer Grant No. 3 P50 CA095060-03S1, "Explorando la relación entre el arsénico y el cáncer. Programa Especializado de Excelencia en Investigación (SPORE) en Cáncer Gastrointestinal. Arsénico Suplemento-México". De igual forma a todas las personas voluntarias de Hermosillo y a las estudiantes de la Universidad de Sonora que participaron en este estudio.

REFERENCIAS

Ahsan, H., Chen, Y., Kibriya, M., Slavkovich, V., Parvez, F., Jasmine, F., Gamble, M. y Graziano, J. 2007. Arsenic Metabolism, Genetic Susceptibility and risk of premalignant skin lesions in Bangladesh. *Cancer Epidemiol Biomarkers*. no. 6. vol. 16:1270-1278.

ATSDR. 2000. Toxicological profile of Arsenic. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

ATSDR. 1997. Top 20 Hazardous Substances: ATSDR/EPA Priority List. Available online: <http://www.atsdr.cdc.gov/cxcx3.html>.

Balakumar, P. y Kaur, J. 2009. Arsenic exposure and cardiovascular disorders: an overview. *Cardiovasc Toxicol*. 9:169-176.

Chung, J.S., Kalman, D.A., Moore, L.E., Kosnett, M.J., Arroyo, A.P., Beeris, M. 2002. Family correlations of arsenic methylation patterns in children and parents exposed to high concentrations of arsenic in drinking water. *Environ Health Perspect* 110:729-733.

EPA Arsenic - Safe Water. 2006. <http://www.epa.gov/safewater/arsenic/index.html>.

EPA (US Environmental Protection Agency). 1995. Method 3015 (SW-846). Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Sample and Extracts in Test Methods for Evaluating Solid Waste, 3rd Edition, 3rd update. US EPA, Washington, DC.

Hafeman, D.M., Ahsan, H., Louis, E.D., Siddique, A.B., Slavkovich, V., Cheng, Z., van Geen, A., Graziano, J.H. 2005. Association between arsenic exposure and a measure of subclinical sensory neuropathy in Bangladesh. *J. Occup. Environ. Med.* 47:778-784.

Hopenhayn-Rich, C., Biggs, M.L., Smith, A.H., Kalman, D.A., Moore, L.E. 1996. Methylation study of a population environmentally exposed to arsenic in drinking water. *Environ Health Perspect* 104:620-8.

IARC (International Agency for Research on Cancer). 2004. Some Drinking-water Disinfectants and Contaminants, including Arsenic. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. IARC press, Lyon. pp. 512.

IARC Arsenic and arsenic compounds. 1987. <http://www.inchem.org/documents/iarc/suppl7/arsenic.html>.

Meza, M.M., Kopplin, M.J., Burgess, J.L., Gandolfi, A.J. 2004. Arsenic drinking water exposure and urinary excretion among adults in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico. *Environ Res.* 96:119-126.

NOM (Norma Oficial Mexicana). 2000. Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad. Diario Oficial de la Federación, Junio.

Tapio, S. and Grosche, B. 2006. Arsenic in the etiology of cancer. *Reviews in Mutation Research*. vol. 612: 215-246.

Tseng, C.H., Tseng, C.P., Chiou, H.Y., Hsueh, Y.M., Chong, C.K., Chen, C.J. 2002. Epidemiologic evidence of diabetogenic effect of arsenic. *Toxicol Lett.* 133:69-76.

Vahter, M. 2000. Genetic polymorphism in the biotransformation of inorganic arsenic and its role in toxicity. *Toxicol Lett* 112-113:209-17.

Vahter, M. 1999. Methylation of inorganic arsenic in different mammalian species and population groups. *Sci Prog* 82:69-88.

Wyatt, C.J., López-Quiroga, V., Olivás-Acosta, R.T., and Oliva Mendez, R. 1998. Excretion of arsenic (As) in urine of children, 7-11 years, exposed to elevated levels of As in the city water supply in Hermosillo, Sonora, México. *Environ. Res.* 78: 19-24.

Yu, R.C., Hsu, K.H., Chen, C.J., Froines, J.R. 2000. Arsenic methylation capacity and skin cancer. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 9:1259-1262.