

## PRESENCIA DE ARSÉNICO Y COLIFORMES EN AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TECUALA, NAYARIT, MÉXICO

Daniel MORA-BUENO<sup>1</sup>, Luz del Carmen SÁNCHEZ-PEÑA<sup>2</sup>, Luz María DEL RAZO<sup>2</sup>,  
Cyndia Azucena GONZÁLEZ-ARIAS<sup>1</sup>, Irma Martha MEDINA-DÍAZ<sup>1</sup>,  
María de Lourdes ROBLEDO-MARENCO<sup>1</sup> y Aurora Elizabeth ROJAS-GARCÍA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Secretaría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic, Nayarit. C.P. 63155, México

<sup>2</sup> Departamento de Toxicología, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, Col. San Pedro Zacatenco, México, D.F. 07360, México

\*Autor responsable; aerg81@gmail.com

*(Recibido noviembre 2010, aceptado enero 2012)*

Palabras clave: arsénico, coliformes, agua potable

### RESUMEN

Se determinaron las concentraciones de arsénico total (AsT) y la presencia de coliformes totales y fecales en agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit, México. La determinación de AsT se realizó por espectrofotometría de fluorescencia atómica, por generación de hidruros; la detección de coliformes totales y fecales se realizó con la técnica del número más probable (NMP). De acuerdo a los resultados obtenidos, la concentración media de AsT en la cabecera municipal de Tecuala fue de 15.82 µg/L, en el ejido de Atotonilco de 19.88 µg/L, en Pajaritos de 21.49 µg/L, en Quimichis de 17.80 µg/L y en Playas de Novillero de 19.79 µg/L. Aunque las concentraciones de AsT en el agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit, se encuentran dentro del límite establecido por las Normas Oficiales Mexicanas (25 µg/L), rebasan el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud, que establece un máximo de 10 µg/L. La concentración de coliformes en el agua procedente de los pozos 1 y 3 fue de 180 NMP/100 mL y de 43 NMP/100 mL para el agua del pozo 2. La presencia de coliformes totales y fecales, sugiere la infiltración de aguas negras lo que podría incrementar los niveles de arsénico disuelto. Los resultados de este estudio servirán como antecedente sanitario de la calidad del agua de los pozos que abastecen el municipio de Tecuala, Nayarit.

Key words: arsenic, coliforms, potable water

### ABSTRACT

Total arsenic concentrations (tAs) and the presence of total and fecal coliforms in drinking water from Tecuala, Nayarit, Mexico, were determined. The presence of tAs was analyzed by means of hydride generation atomic fluorescence spectrometry. Total and fecal coliforms were determined through the Most Probable Number (MPN) method. According to the results, the mean concentration of tAs in Tecuala was 15.82 µg/L, in Atotonilco 19.88 µg/L, in Pajaritos 21.49 µg/L, in Quimichis 17.80 µg/L, and in Playas de Novillero 19.79 µg/L. The tAs concentrations in drinking water from Tecu-

ala, Nayarit, are within the limit set by the Mexican official standards (25 µg/L); still, they are over the limit established by the World Health Organization (10 µg/L). The concentration of coliforms in water from wells 1 and 3 was 180 MPN/100 mL and 43 MPN/100 mL for well water 2. The presence of total and fecal coliforms, suggest the infiltration of sewage which could increase the levels of dissolved arsenic. The results of this study will serve as an antecedent of the water quality in Tecuala, Nayarit.

## INTRODUCCIÓN

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) definen como agua potable para uso y consumo humano aquella que no contiene contaminantes, sea éstos químicos o agentes biológicos, y que causen algún efecto nocivo al ser humano (SECOFI 2001). Por otra parte, debe cumplir con las características básicas del agua: que sea incolora, inodora e insípida. Para cumplir con estas premisas, el agua debe someterse a rigurosos controles para verificar su calidad (SECOFI 1986).

El arsénico (As) es un elemento presente en la corteza terrestre y distribuido en el ambiente a través de procesos naturales y algunas actividades antrópicas. Existe tanto en forma inorgánica como orgánica (USEPA 2006). La contaminación de aguas subterráneas por sales de As inorgánico (Asi) origina lo que se conoce como hidroarsenicismo regional endémico. Se ha estimado que más de 100 millones de individuos en el mundo están expuestos a concentraciones elevadas de Asi a través del agua de bebida proveniente de pozos profundos (Mukherjee *et al.* 2007). La concentración de Asi en el agua es variable y probablemente dependa de sus formas presentes en el subsuelo (WHO 2001).

En fase acuosa, el As se encuentra principalmente en forma de Asi; forma precipitados insolubles con varios elementos como calcio, azufre, bario, aluminio y flúor, lo que disminuye la biodisponibilidad de los compuestos de As en el agua (ATSDR 2007, Regmi *et al.* 2007).

Se ha determinado la presencia de As en agua subterránea de varios países como Argentina, Bangladesh, India, Pakistán, Mongolia, Tailandia, China, Chile, Estados Unidos, Canadá, Hungría y México, entre otros. En cuanto a la concentración de As en agua potable en México, ésta se encuentra por arriba de la NOM en varias regiones, especialmente en áreas ubicadas en el centro y norte del país (Del Razo *et al.* 1990, 1993; Gómez-Arroyo *et al.* 1997). En Sonora las concentraciones reportadas de As encontradas en agua para beber en los municipios de Magdalena, Caborca, Etchoja y Hermosillo son de 117, 67, 51 y 305 µg/L, respectivamente (Wyatt *et al.* 1998). En Hidalgo se han

encontrado concentraciones de As en agua de beber entre 9 y 378 µg/L (Valenzuela *et al.* 2007).

La vía y el grado de absorción de As dependen de la forma química en que se encuentre (ATSDR 2007). En general, las especies arsenicales se acumulan en órganos muy irrigados como son hígado, riñón, pulmón y vejiga; en menor proporción se acumula en tejidos ricos en lípidos como el adiposo y el cerebro (Hughes *et al.* 2000, Rodríguez *et al.* 2005, Paul *et al.* 2007). Por su semejanza química con el fósforo, el As también puede depositarse en huesos y dientes, por lo que el organismo puede retenerlo por largos periodos (ATSDR 2007).

En humanos, así como en muchos mamíferos, la biotransformación del Asi se realiza principalmente en el hígado y se lleva a cabo mediante una serie de reacciones de reducción y metilación oxidante (Waters *et al.* 2004, Regmi *et al.* 2007).

La intoxicación aguda con As por vía digestiva se manifiesta con un cuadro gastrointestinal de tipo coleriforme: dolores abdominales, vómitos, diarreas profusas y deshidratación (Suárez-Solá *et al.* 2004). En intoxicaciones graves puede desencadenar un cuadro de choque secundario a la vasodilatación y depresión miocárdica. Las alteraciones al sistema nervioso central aparecen en forma de letargia, delirio, convulsiones y coma (Heck *et al.* 2007, Hick *et al.* 2007).

El As se ha clasificado como un compuesto cancerígeno dentro del grupo IA (carcinógeno para el humano) debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud (ATSDR, 2007). Sus mecanismos de acción como carcinógeno aún no han sido totalmente dilucidados, pero se ha descrito que actúa indirectamente sobre el ADN (Hick *et al.* 2007).

Por otro lado, más de la mitad de la población mundial consume agua contaminada con bacterias patógenas de origen fecal, causantes de enfermedades que van desde gastroenteritis leve hasta casos graves de disentería, cólera y fiebre tifoidea (OMS 1985).

Algunos microorganismos patógenos pertenecientes a los generos *Shigella*, *Salmonella* y *Vibrio*, entre otros, llegan a ser fuentes potenciales de infecciones severas en forma directa, especialmente cuando el agua es utilizada para fines recreativos. También

pueden ser fuentes potenciales indirectas cuando están presentes en otros organismos que son consumidos por el hombre, como son pescados, crustáceos y moluscos (Becerra Tapia y Botello 1995).

Nayarit es uno de los estados mexicanos que presenta los mayores índices de enfermedades infectocontagiosas. El sistema de vigilancia epidemiológica, de la Secretaría de Salud, señala que Nayarit ocupó el primer lugar en enterobiasis en 2008, con una incidencia de 71.87 por cada 100 000 habitantes (CENAVECE 2010). La enterobiasis, al igual que otras enfermedades, se encuentra estrechamente relacionada con la calidad microbiológica del agua para consumo humano. Ante la dificultad que representa la detección de todas las bacterias patógenas, la opción ha sido detectar las bacterias que están presentes normalmente en las heces de seres humanos y animales de sangre caliente, a las que se denomina bacterias indicadoras de contaminación fecal (SECOFI 1987). Para el control de la potabilidad del agua se incluyen, en el análisis de laboratorio, pruebas de cuenta de bacterias mesofílicas aerobias y la estimación del número más probable (NMP) de organismos coliformes totales y fecales. Los coliformes son organismos capaces de crecer en un medio aeróbico a  $37\pm 1$  °C en un medio de cultivo líquido lactosado con producción de ácido y gas dentro de un periodo de 48 h (SECOFI 1987). Este grupo comprende a todos los bacilos Gram negativos que fermentan lactosa; está conformado por cuatro géneros principales: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella* (COFEPRIS 2006).

Para considerar que el agua es potable, desde el punto de vista bacteriológico, deberá dar como resultado menos de 200 colonias de bacterias mesofílicas aerobias por mL de muestra, un máximo de dos organismos coliformes totales en 100 mL de muestra y no contener organismos coliformes fecales en 100 mL de muestra (Flores-Abuxapqui *et al.* 1995).

En cuanto al As, no existen antecedentes o estudios que refieran su presencia en la zona de estudio, por lo que el objetivo de esta investigación fue realizar un muestreo puntual para la determinación de los niveles de AsT y la presencia de organismos coliformes en muestras de agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El municipio de Tecuala se localiza en la parte norte del estado de Nayarit, entre los paralelos 22° 14' y 22°

34' de latitud norte y los meridianos 105° 14' y 105° 45' de longitud oeste. Limita al norte con el estado de Sinaloa y el municipio de Acaponeta, al sur con los municipios de Santiago Ixcuintla y Rosamorada, al oriente con el municipio de Acaponeta y al poniente con el Océano Pacífico. La pesca es la principal actividad económica, además de tener importantes áreas agrícolas (65 % del territorio) y ganaderas. Cuenta con 89 ejidos y una cabecera municipal. La población total es 336 403 habitantes (INAFED 2005).

### Muestreo

El municipio de Tecuala cuenta con tres pozos para abastecer de agua a las comunidades que lo conforman; el primero surte a la cabecera municipal (Tecuala) y los otros dos a los ejidos costeros de Atotonilco, Pajaritos, Quimichis y Novillero. En noviembre de 2009 se realizó un muestreo puntual en el que se colectó agua de los tres pozos. La toma de muestras se llevó a cabo de acuerdo a las especificaciones de la NOM-014-SSA1-1993 (SSA 1994).

Se tomaron 74 muestras de agua intradomiciliaria: cuarenta se obtuvieron de la cabecera municipal de Tecuala, diez de los ejidos de Atotonilco, Pajaritos y Quimichis, y cuatro del ejido de Playas de Novillero. Para ubicar cada sitio de muestreo se utilizó el sistema de posicionamiento global (GPS) marca ETREX Garmin modelo 21508791 (**Fig. 1**).

### Determinación de Asi por espectrofotometría de fluorescencia atómica

De cada una de las muestras se tomó una alícuota de 1 mL. El Asi<sup>V</sup> se redujo a Asi<sup>III</sup> con 200 µL de solución de yoduro de potasio/ácido ascórbico. Posteriormente se agregaron 3 mL de HCl concentrado y se aforó a 10 mL con agua desionizada; se agitó y se dejó reposar 30 minutos a temperatura ambiente.

Posteriormente se hizo reaccionar con borohidruro de sodio para generar la arsina correspondiente. Se utilizó argón como gas acarreador y la flama se generó con hidrógeno gaseoso. La luz emitida se detectó con la lámpara de As a 193.7 nm y la cuantificación se realizó en un equipo de espectrofotometría de fluorescencia atómica Millennium Excalibur PSA 10055 (PSA Analytical, England). Para el análisis se utilizó el software PSA millenium.

### Control de calidad

En cada serie de trabajo se utilizó un estándar de referencia NIST SRM 1643e (National Institute of Standards & Technology, Standard Reference Materials) con concentración certificada de  $60.45 \pm 0.72$  µg/L para evaluar la exactitud de la determinación



**Fig. 1.** Zona de estudio y ubicación de los sitios de muestreo en el municipio de Tecuala, Nayarit, México

de AsT. Todas las muestras y los estándares se analizaron por duplicado; las muestras en las cuales se obtuvo un coeficiente de variación mayor a 5 % se analizaron nuevamente. En cada lote de muestras se incluyó el estándar de agua; con los valores obtenidos de esta muestra se evaluó la exactitud, que estuvo entre 94 y 106 %, mientras que la precisión fue > 90 % en muestras por duplicado.

#### **Determinación de coliformes totales y fecales por el método NMP**

Las muestras de agua se tomaron en frascos estériles que contenían 0.1 mL de solución de tiosulfato de sodio a 10 % para cada 120 mL de muestra y se protegieron de la luz (SSA 1995).

Para cuantificar coliformes totales se utilizó la técnica de tubos múltiples de fermentación (NOM-110-SSA1-1994-SSA 1995). Las cepas de coliformes totales control fueron proporcionadas por el laboratorio estatal de la Secretaría de Salud de Nayarit.

Los tubos se incubaron a 35 °C durante 24-48 horas. Al término de este periodo fueron observados aquellos tubos que mostraron producción de gas y se sembraron en medio selectivo/confirmativo (caldo bilis verde brillante a 2 %) por 24 horas más para confirmar los coliformes totales. Se tomaron en cuenta los parámetros de positividad descritos en la norma NOM-110-SSA1-1994 (SSA 1995). Posterior-

mente, los tubos positivos se incubaron en caldo EC (*E. coli*) con MUG (4-metilumbeliferil glucurónico) a 44 °C durante 24-48 h para confirmar la presencia de organismos coliformes fecales. Los tubos fueron observados bajo una lámpara de luz ultravioleta para comprobar la emisión de fluorescencia. Finalmente, se calculó el NMP de coliformes totales y fecales en 125 mL de muestra a partir de los tubos positivos y se comparó con las tablas de referencia.

## **RESULTADOS**

### **Arsénico**

El promedio de AsT encontrado en las muestras analizadas en el poblado de Tecuala fue de 15.82 µg/L (rango de 7.42 a 19.82 µg/L), en el poblado de Atotonilco fue de 19.88 µg/L (rango de 17.83 a 21.02 µg/L). En cuanto a las muestras procedentes del ejido de Pajaritos el promedio fue de 21.49 µg/L (rango de 18.20 a 27.15 µg/L). Como se aprecia, los valores de AsT en este último punto de muestreo fueron superiores a los encontrados en Tecuala y Atotonilco en tanto 70 % de las muestras sobrepasan 20 µg/L. Por otro lado, el promedio de AsT en las muestras de Quimichis fue de 17.80 µg/L (18.73 a 21.76 µg/L). En el poblado de Playas de Novillero, la concentración de AsT fue de 19.79 µg/L (19.36 a 21.79 µg/L) (**Fig. 2**).

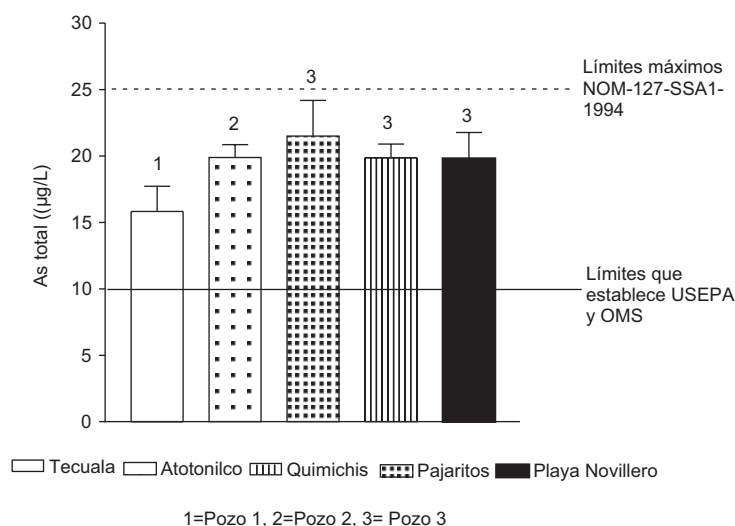


Fig. 2. Concentración de As en muestras de agua potable

### Coliformes totales y fecales

En el **Cuadro I** se presentan los resultados positivos a las pruebas presuntivas y confirmatorias para coliformes totales y fecales. Del total de tubos inoculados, 73 % fue positivo a coliformes totales y fecales en las muestras colectadas de los pozos 1 y 3, mientras que 46.6 % de los tubos fueron positivos para el pozo 2. Los resultados expresados cuantitativamente (NMP/100 mL) indican que las muestras procedentes de los pozos 1 y 3 presentaron valores de 180 NMP de coliformes totales y fecales, mientras que las muestras procedentes del pozo 2 tuvieron valores de 43 NMP de coliformes totales y fecales. De acuerdo con estos resultados, los valores de coliformes totales coincidieron en 100 % con los de fecales.

Los resultados de coliformes fecales en los tres pozos se encuentran por arriba del límite máximo establecido (SSA 1994), que menciona que el agua potable no debe presentar este tipo de microorganismos.

## DISCUSIÓN

Los niveles de AsT en las muestras de agua potable procedentes del municipio de Tecuala, Nayarit,

estuvieron por debajo de lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (SSA 1994), cuyo valor máximo recomendado es de 25 µg/L. Sin embargo, dichos valores rebasan el límite que establece la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y la Organización Mundial de la Salud, cuyo nivel máximo permitido de As es de 10 µg/L (WHO 2001).

En estudios realizados en otros estados de la República Mexicana también se han encontrado niveles de AsT superiores a lo que establece la USEPA y la OMS (**Cuadro II**). Tal es el caso del estudio realizado por Wyatt *et al.* (1998) en Hermosillo, Sonora, donde las concentraciones de As en agua de beber van de 7 a 38 µg/L. En Meoqui, Chihuahua, se encontraron concentraciones entre 75 y 134 µg/L (Piñón-Miramontes *et al.* 2003). En la Comarca Lagunera las concentraciones de As detectadas van de 8 a 624 µg/L (Del Razo *et al.* 1993; Trejo y Bonilla 2002). En Zimapán, Hidalgo, las concentraciones de AsT reportadas fueron de 2 a 378 µg/L (Valenzuela *et al.* 2007).

En cuanto a otras partes del mundo, las concentraciones de As encontradas en este estudio son comparables con otros realizados en el norte de China, Hungría y Alemania (cuenca del Danubio);

**CUADRO I.** CONCENTRACION DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN LOS TRES POZOS ESTUDIADOS

Pozo	Ubicación del pozo	Muestras positivas/n (%)	Coliformes totales NMP/100 mL*	Coliformes fecales NMP/100 mL*
1	Cabecera del municipio de Tecuala, Nayarit	11/15 (73)	180	180
2	Atotonilco (Cofradía)	7/15 (46.6)	43	43
3	Atotonilco (Crucero)	11/15 (73)	180	180

\*Unidad internacional



**CUADRO II.** CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN EL AGUA DE ALGUNOS ESTADOS DE MÉXICO

Estado	Localidad	As (µg/L)	Autor
Chihuahua	Delicias, Meoqui, Julimes y Rosales	10-370	Espino-Valdez <i>et al.</i> 2009
Coahuila y Durango	Comarca Lagunera	8-624	Del Razo <i>et al.</i> 1990, 1993, Trejo y Bonilla 2002
Guanajuato	San Luis de la Paz, Acambaro, Abasolo	>25	Revisión en Armienta y Segovia, 2008
Hidalgo	Zimapán	2-378	Armienta <i>et al.</i> , 1997; Valenzuela <i>et al.</i> 2007
Nayarit	Tecuala	7-27	En el presente estudio.
Jalisco	Los Altos	15-135	Hurtado-Jimenez y Gardea Torresday, 2003
Puebla	Achichipilco, Valsequillo	>25	Petkova <i>et al.</i> 1997
Sonora	Hermosillo	75-134	Piñón-Miramontes <i>et al.</i> 2003
Sonora	Hermosillo	7-38	Wyatt <i>et al.</i> 1998
Zacatecas	Loreto, Guadalupe - Bañuelos, Chupaderos	>25	Leal-Ascencio y Gelover-Santiago 2006

en el último caso se observó que el agua de pozos superficiales tiene bajo contenido de As, en contraste con el agua de pozos profundos (Wang y Huang 1994, Gurzau y Gurzau 2001, Smedley y Kinniburgh 2002). Sin embargo, debe tenerse en consideración que las concentraciones de As pueden variar de acuerdo a la época del año, pues se observa un descenso en estaciones lluviosas y un aumento en época de sequía (Berg *et al.* 2001).

El agua subterránea constituye la principal fuente de agua potable para la población. El aumento en su demanda obliga a realizar excavaciones más profundas para obtener el recurso, lo cual conlleva a la sobreexplotación de los mantos acuíferos enriquecidos naturalmente con elementos tóxicos como el As, de origen geológico, incrementan su concentración en el agua y producen consecuentemente efectos adversos sobre la salud de las poblaciones expuestas a este metaloide.

Estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición crónica a As puede ocasionar alteraciones hepáticas, neuropatías periféricas, incremento en la incidencia de cáncer de pulmón, vejiga, riñón e hígado, así como alteraciones en la piel (queratosis e hiperpigmentación), diabetes mellitus, hipertensión, disminución en los procesos de reparación del ADN, lo cual genera una mayor susceptibilidad al desarrollo de cáncer y otras enfermedades (ATSDR 2007).

La presencia de Asi asociada a la infiltración de aguas negras a los pozos puede favorecer el transporte y la movilidad del contaminante (Sharma *et al.* 2011). Por otro lado, aunque las bacterias coliformes no son patógenas *per se*, encontrarlas en agua indica la presencia de microorganismos potencialmente patógenos, por lo que son utilizadas ampliamente como índice de deficiencias sanitarias (Hunter *et al.* 2000). Pese a que se considera que las *E. coli* patógenas representan menos de 1 % del total de coliformes presentes en agua contaminada, basta con 100 microorganismos para ocasionar una enfer-

medad. En la bibliografía se han descrito muchos episodios de trastornos graves y muertes debido a la contaminación producida por esta bacteria (Cáceres 1990, Hunter *et al.* 2000, Brooks *et al.* 2002).

Es importante mencionar que la contaminación de un pozo de agua no refleja necesariamente la contaminación de un acuífero, ya que pueden contaminarse fácilmente por aporte local si tienen algún defecto de construcción (Richards *et al.* 1996). Por otra parte, no obstante que el agua reúne las condiciones de potabilidad al ingresar al sistema de distribución, puede deteriorarse antes de llegar al consumidor, ya sea por contaminación del propio sistema de distribución o por manejo intradomiciliario deficiente, el cual se agrava por el almacenamiento en cisternas, tinacos u otros depósitos defectuosos o manejados en forma inapropiada. La contaminación en estos casos puede ser tan peligrosa como la distribución de agua cuyo tratamiento haya sido insuficiente (Branco 1984, OMS 1985).

El hallazgo de coliformes totales y fecales en agua para uso y consumo humano considerada como potable, propicia la necesidad de más estudios locales en los que se evalúe la posible correlación entre la contaminación del agua y la salud de los pobladores.

Los resultados de este trabajo sugieren la necesidad de tratamientos eficientes que culminen en la desinfección total del agua, para que sea apta para consumo humano, sin importar la contaminación inicial que haya presentado. Asimismo, se recomienda implementar sistemas de monitoreo efectivo que detecten rupturas en los sistemas de distribución del recurso para evitar su contaminación y enfermedades relacionadas.

Finalmente el presente trabajo proporciona las bases para que se realice de manera periódica la evaluación de calidad de agua del presente lugar de estudio. En conclusión, las concentraciones de AsT en agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit,

se encuentran dentro del límite establecido por las Normas Oficiales Mexicanas, a pesar de que rebasan el límite establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y la Organización Mundial de la Salud. Por su parte, el número de coliformes totales y fecales en el agua rebasa los límites permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la QFB Esther Herrera y Ángel Barrera Hernández por su apoyo técnico. Agradecen también al gobierno municipal de Tecuala, Nayarit, por las facilidades brindadas para el desarrollo de campo de este estudio.

### REFERENCIAS

- Armienta M.A., Rodríguez R., Aguayo A., Ceniceros N., Villaseñor G. y Cruz O. (1997). Arsenic contamination of groundwater at Zimapan, Mexico. *Hydrogeol. J.* 5, 39-46.
- Armienta M.A., Segovia N. (2008). Arsenic and Fluoride in the groundwater of Mexico. *Environ. Geochem. Health.* 30, 345-353.
- ATSDR (2007). Toxicological Profile for Arsenic. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia. [en línea]. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>. 15/10/2010.
- Becerra-Tapia N. y Botello A.V. (1995). Bacterias totales, fecales y patógenas en el sistema lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Hidrobiológica* 5, 87-94.
- Berg M., Tran H.C., Nguyen T.C., Pham H.V., Schertenleib R. y Giger W. (2001). Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: a human health threat. *Environ. Sci. Technol.* 35, 2621-2626.
- Branco S.M. (1984). *Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales*. Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. 120 pp.
- Brooks G.F., Butel J.S. y Morse S.A. (2002). *Microbiología médica de Jawetz, Melnick y Adelberg*. 17ª ed. Manual Moderno, México. 844 pp.
- Cáceres O. (1990). *Desinfección del agua*. Ministerio de Salud, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, Lima, Perú, 369 pp.
- CENAVECE (2010). Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica [en línea]. <http://www.dgepi.salud.gob.mx/anuario/html/anuarios.html>.
- COFEPRIS (2006). CCAYAC-M-004-2006. Estimación de la densidad microbiana por la técnica del número más probable, detección de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* por el número más probable. Comisión de Control Analítico y Ampliación de Cobertura. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. México, D.F. 33 pp.
- Del Razo L.M., Arellano M.A. y Cebrián M.E. (1990). The oxidation states of arsenic in well water from a chronic arsenicism area of Northern Mexico. *Environ. Pollut.* 64:143-153.
- Del Razo L.M., Corona J.C., García-Vargaa G., Albores A., Cebrián M.E. (1993). Fluoride levels in well-water from a chronic arsenicism of Northern Mexico. *Environ. Pollut.* 80, 91-94.
- Espino-Valdés M. S., Barrera-Prieto Y. y Herrera-Peraza E.. (2009): Presencia de arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua, México. *Tecnociencia III*, 8-18.
- Flores-Abuxapqui J.J., Suárez-Hoíl G.J., Puc-Franco M.A., Heredia-Navarrete M.R., Vivas-Rosel M. y Franco-Monsreal J. (1995). Calidad bacteriológica del agua potable de la ciudad de Mérida, México. *Salud Pública México* 37, 236-239.
- Gómez-Arroyo S., Armienta M.A., Cortés-Eslava J. y Villalobos-Pietrini R. (1997). Sister chromatid exchanges in *Vicia faba* induced by arsenic-contaminated drinking water from Zimapan, Hidalgo, Mexico. *Mutat. Res.* 394, 1-7.
- Gurzau E.S. y Gurzau A.E. (2001). Arsenic in drinking water from groundwater in Transylvania, Romania: an overview. En: *Arsenic Exposure and Health Effects IV* (W. Chappell, Ed.). Elsevier, Oxford, pp. 181-184.
- Heck J., Gamble M., Chen Y., Graziano J., Slavkovich V., Parvez F., Baron J., Howe G. y Ahsan H. (2007). Consumption of folate-related nutrients and metabolism of arsenic in Bangladesh. *Am. J. Clin. Nutr.* 85, 1367-1374.
- Hick A.S., Paczkowski M.G., Gadano A.B. y Carballo M.A. (2007). Biomarcadores de genotoxicidad en individuos expuestos al arsénico. *Lat. Am. J. Pharm.* 26, 691-699.
- Hughes M.F., Del Razo L.M. y Kenyon E.M. (2000). Dose-dependent effects on tissue distribution and metabolism of dimethylarsinic acid in the mouse after intravenous administration. *Toxicology* 143, 155-166.
- Hunter C., Perkins J., Tranter J. y Hardwick P. (2000). Fecal bacteria in the waters of an upland area in Derbyshire, England: the influence of agricultural land use. *J. Environ. Qual.* 29, 1253-1261.
- Hurtado-Jiménez R. y Gardea-Torresdey J.L. (2006). Arsénico en el agua potable de la región de Los Altos de Jalisco, México. *Rev. Panam. Salud Publ.* 20, 236-247.

- INAFED (2005). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los municipios de México. Tecuala, Nayarit [en línea]. <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/nayarit/mpios/18016a.htm> 9/09/2010.
- Leal-Ascencio M.T. y Gelover-Santiago S. (2006). Evaluación de acuíferos de la Mesa del Norte. Memorias. V Congreso Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Oaxtepec, Mor. México [en línea]. [http://www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EO/CAO-35.pdf](http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EO/CAO-35.pdf). 9/09/2010
- Mukherjee A., Fryar A.E. y Howell P. (2007). Regional hydrostratigraphy and groundwater flow modeling in the arsenic-affected areas of the western Bengal basin, West Bengal, India. *Hydrogeol. J.* 15, 1397-1418.
- OMS (1985). Guidelines for drinking-water quality. Organización Mundial de la Salud. 3ra ed. [en línea]. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/fulltext.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf).
- Paul D.S., Harmon A.W., Devesa V., Thomas D.J. y Stýblo M. (2007). Molecular mechanisms of the diabetogenic effects of arsenic: inhibition of insulin signaling by arsenite and methylarsonous acid. *Environ. Health Perspect.* 115, 734-742.
- Petkova-Simeonova V., Rivera-Huerta M.L, Piña-Soberanis M., Avilés-Flores M. y Pérez C.S. (1997). Evaluación de diversos minerales para la remoción de arsénico de agua para consumo humano. Memorias Técnicas. 11º Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Zacatecas, México. 4 al 7 de noviembre, 1997. pp. 1-10.
- Piñón-Miramontes M., Bautista-Margulis R.G. y Pérez-Hernández A. (2003). Removal of arsenic and fluoride from drinking water with cake alum and a polymeric anionic flocculent. *Fluoride* 36, 122-128.
- Regmi R., Milne F.B. y Feldmann J. (2007). Hydride generation activity of arsenosugars and thioarsenicals. *Anal. Bioanal. Chem.* 388, 775-782.
- Richards R.P., Baker D.B., Creamer N.L., Kramer J.W., Ewing D.E., Merryfield B.J. y Wallrabenstein L.K. (1996). Well water quality, well vulnerability, and agricultural contamination in the Midwestern United States. *J. Environ. Qual.* 25, 384-402.
- Rodríguez V.M, Del Razo L.M, Limón-Pacheco J.H, Giordano M., Sánchez-Peña L.C, Uribe-Querol E., Gutiérrez-Ospina G. y Gonsebatt M.E. (2005). Glutathione reductase inhibition and methylated arsenic distribution in Cd1 mice brain and liver. *Toxicol. Sci.* 84, 157-166.
- Sepúlveda-Saa R. (2009). El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas. *Ciencia UANL* 12, 239-244.
- SECOFI (1986). Norma Mexicana NMX-AA-089/1-1986. Protección al ambiente: calidad del agua. Vocabulario, parte 1. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 15 de Julio de 1986.
- SECOFI (1987). Norma Mexicana NMX-AA-42-1987. Calidad del agua: determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 3 de Junio de 1987.
- SECOFI (2001). Norma Mexicana NMX-AA-051-2001. Análisis de agua: determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 13 de Agosto de 2001.
- Sharma P, Rolle M, Kocar B, Fendorf S, Kappler A. (2011). Influence of natural organic matter on As transport and retention. *Environ Sci Technol.* 45, 546-553.
- Smedley P.L. y Kinniburgh D.G. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17, 517-568.
- SSA (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 12 de Agosto de 1994.
- SSA (1994). Modificación de 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. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación, México, 22 de noviembre de 2000.
- SSA (1995). Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 16 de Octubre de 1995.
- Suárez-Solá M.L., González-Delgado F.J., González-Weller D., Rubio-Armendáriz C. y Hardisson D.A. (2004). Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. *Cuad. Med. Forense* 35, 5-14.
- Trejo R. y Bonilla A. (2002). Cuantificación de As en el agua subterránea de la ciudad de Aguascalientes, México, y elevación de riesgos entre la población. *Ing. Hidraul. Mex.* 4, 78-89.
- USEPA (2006). EPA-230-2-06-002. Regulatory Plan and Semiannual Regulatory Agenda. United States Environmental Protection Agency. [en línea]. <http://www.epa.gov/regulations/documents/regagendabook-fall2006.pdf> 9/09/2010.
- Valenzuela O.L., Germolec D.R., Borja-Aburto V.H., Contreras-Ruiz J., García-Vargas G.G. y Del Razo L.M. (2007). Chronic arsenic exposure increases TGF $\alpha$  concentration in bladder urothelial cells of



- Mexican populations environmentally exposed to inorganic arsenic. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 222, 264-270.
- Wang L. y Huang J. (1994). Chronic arsenism from drinking water in some areas of Xinjiang, China. En: *Arsenic in the environment, part II: human health and ecosystems effects*. (J.O. Nriagu Ed). John Wiley and Sons, Nueva York. pp. 159-172.
- Waters S.B., Devesa V., Del Razo L.M., Styblo M. y Thomas D.J. (2004). Endogenous reductants support the catalytic function of recombinant rat cyt19, an arsenic methyltransferase. *Chem. Res. Toxicol.* 17, 404-409.
- WHO (2001). Arsenic and arsenic compounds. Environmental health criteria 224. World Health Organization. [en línea]. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm> 9/09/2010.
- Wyatt C., López V., Olivas R. y Méndez 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, Mexico. *Environ. Res.* 78, 19-24.