

Presencia de arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua, México

Arsenic presence in North section of Meoqui-Delicias aquifer of State of Chihuahua, Mexico

MARÍA SOCORRO ESPINO-VALDÉS¹, YARAVI BARRERA-PRIETO² Y EDUARDO HERRERA-PERAZA³

Recibido: Marzo 23, 2009

Aceptado: Abril 07, 2009

Resumen

Altas concentraciones de arsénico en el agua de consumo ocasionan problemas cardiovasculares y cáncer en la piel. La norma mexicana para agua potable establece un límite de este elemento de 0.025 mg/L. En las zonas áridas del norte de México existen depósitos minerales con niveles elevados de arsénico, el cual es disuelto por el agua que fluye a través de ellos. El acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua, que es la principal fuente de agua para los municipios de Julimes, Meoqui, Rosales y Delicias, ha sido afectado por estos minerales. Se colectaron 61 muestras de agua potable en estos municipios localizados en la sección norte del acuífero. Se determinó la concentración de arsénico y se estableció su posible origen en relación a los aspectos hidrogeológicos más relevantes del área. El análisis de los sólidos disueltos confirmó la dirección del flujo subterráneo. El límite de arsénico fue excedido en el 72% de las muestras analizadas, que en su mayoría corresponden a los municipios de Julimes y Meoqui. La información hidrogeológica muestra un origen natural geogénico del arsénico relacionado con el flujo de recarga procedente de depósitos minerales de arsenopirita de las sierras circundantes y el contacto con los sedimentos acumulados en el acuífero a través del tiempo. En Julimes el flujo geotérmico ascendente y la alta tasa de evaporación favorecen elevados valores de arsénico en el agua subterránea. En las comunidades afectadas por este y otros elementos indeseables se aplica el proceso de ósmosis inversa al agua de consumo para su desmineralización.

Palabras clave: arsénico, agua potable, acuífero Meoqui-Delicias, desmineralización

Abstract

High arsenic levels in drinking water cause cardiovascular problems and skin cancer. Mexican regulations for drinking water establishes a limit of 0.025 mg/L for this element. There are mineral deposits with high levels of arsenic in the arid regions of northern Mexico; this arsenic is dissolved by groundwater flowing through them. The Meoqui-Delicias aquifer in the State of Chihuahua, which is the main water source for the municipalities of Julimes, Meoqui, Rosales and Delicias, has been affected by these minerals. Samples of 61 drinking water wells were collected from these municipalities located at the north section of the aquifer. Arsenic concentration was determined and its possible source was established as related to the most relevant hydrogeological aspects in the area. Dissolved solids analysis confirmed the groundwater flow direction. The arsenic limit was exceeded in 72% of water samples, which in majority correspond to the Julimes and Meoqui municipalities. Hydrogeological information shows a natural geogenic source of arsenic, related to the recharge flow coming from arsenopyrite mineral deposits of surrounding mountains and the contact with sediments accumulated in the aquifer through time. In Julimes, upflow of geothermal water and high evaporation rate favor high arsenic concentration in groundwater. Reverse osmosis process is applied for demineralization of drinking water in the communities affected by arsenic and other undesirable elements.

Keywords: arsenic, drinking water, Meoqui-Delicias aquifer, demineralization

¹ Profesora de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito No. 1 Nuevo Campus Universitario, C.P. 31125. Tel. (614) 4 42 9507, Chihuahua, Chih. México. mespino@uach.mx.

² Estudiante graduada de la Maestría en Hidrología Subterránea de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua.

³ Investigador titular del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Miguel de Cervantes 120, C.P. 31109, Complejo Industrial Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.

Introducción

El arsénico se presenta de forma natural en el medio ambiente tanto en aguas subterráneas como superficiales, al igual que en muchos alimentos (Nacional Research Council, NRC, 1999).

La exposición crónica al arsénico a través del agua de consumo provoca varios efectos adversos a la salud, tales como cáncer en piel y en algunos órganos internos, así como efectos neurológicos y problemas cardíacos (NRC, 1999). La norma oficial mexicana para agua potable establece como límite máximo permitido el valor de 0.025 mg/L (Modificación a la NOM-127, 1998).

Muchos minerales contienen arsénico en forma natural, específicamente algunos sulfuros como realgar (As_2S_4), orpimenta (As_4S_6) y arsenopirita ($FeAsS$). Se ha probado que la movilización del arsénico hacia el agua se ve favorecida por su desorción a partir de óxidos de hierro y de otros metales que se presentan en los acuíferos poco profundos que subyacen grandes regiones aluviales (TWB, 2005). Sin embargo, tanto en acuíferos profundos como someros se han encontrado elevadas concentraciones de arsénico, por lo que la profundidad del agua subterránea no parece ser un indicador de la susceptibilidad a su movilización; ésta se debe a una combinación de las características geoquímicas e hidrogeológicas prevaletentes (TWB, 2005).

Aunque no se conoce el mecanismo detallado de su movilización en los acuíferos sedimentarios, se ha confirmado que las condiciones anaerobias y el movimiento lento del agua subterránea favorecen la disolución de minerales, particularmente de sulfuros que contienen arsénico (Welch, 1999). Por lo tanto en las áreas mineralizadas, especialmente las que tienen actividad minera, se incrementa el riesgo de incidencia de este elemento en el agua (Safiuddin, 2001).

En años recientes se han detectado elevadas concentraciones de arsénico en el

agua subterránea de un gran número de acuíferos de todo el mundo, incluyendo Argentina, Australia, Chile, Hungría, México, Perú, Tailandia y los Estados Unidos de América (WHO, 2001). Los mayores valores corresponden a Bangladesh, India, Nepal, Pakistán, Camboya, China, Laos y Vietnam (The World Bank, TWB, 2005). En México se han encontrado niveles altos de arsénico en diferentes acuíferos granulares del centro y noroeste de la república (Ortega-Guerrero, 2009) y en el agua subterránea de varias regiones como Zimapán, Hidalgo (Armienta, 2001), Tlamacazapa, Guerrero (Cole, 2004), Mexxicacán, Teocaltiche y San Juan de los Lagos, en el estado de Jalisco (Hurtado-Jiménez, 2006), la Comarca Lagunera (Boochs, 2007), zonas mineras de San Antonio-El Triunfo en Baja California y Santa María de la Paz en San Luis Potosí, así como en áreas geotermales de Michoacán (Los Azufres) y Puebla (Acoculco y Los Humeros) (Armienta, 2008). En la región Lagunera, entre los estados de Coahuila y Durango se encontró envenenamiento crónico con arsénico de carácter endémico (Castro, 2004).

Debido a sus características geográficas y climatológicas, en el estado de Chihuahua el agua subterránea es el principal recurso para el abastecimiento público, así como para usos industriales y el riego agrícola. De los 61 acuíferos que existen en el estado, 17 presentan condiciones de sobreexplotación (CNA, 2005). Entre éstos se encuentra el acuífero Meoqui-Delicias, el cual cuenta con cerca de 1000 aprovechamientos que en su mayoría se destinan al riego agrícola, aunque una parte del volumen extraído se emplea para el suministro de agua potable a los habitantes de la región.

El desequilibrio observado entre la extracción y la recarga de los acuíferos chihuahuenses ha sido acrecentado por los eventos prolongados de sequía que afectaron al estado en los años recientes, particularmente los ocurridos a mediados y finales de la década de 1990 (Núñez-López, 2007). Tales fenómenos, además de impactar negativamente en el volumen de agua disponible, han venido a afectar también la calidad de los recursos hidrológicos, especialmente de aquellos que se destinan al consumo humano. En esta situación se encuentran las fuentes de agua potable de algunas localidades que se abastecen del acuífero Meoqui-Delicias. En los últimos años, en éstas se han presentado niveles elevados de algunas sales entre las que se encuentran compuestos de arsénico y otros constituyentes del agua que pueden ocasionar daños a la salud, tales como fluoruros y nitratos (Barrera, 2008).

El objetivo de esta investigación fue proporcionar información sobre la ocurrencia del arsénico en las fuentes de agua potable ubicadas en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias que abarca los municipios de Julimes, Rosales, Meoqui y Delicias en el Estado de Chihuahua, identificando los sitios con alta concentración de este elemento y su relación con las características hidrogeoquímicas del área. El estudio pretende proporcionar información relevante para la toma de decisiones en los trabajos de planificación y manejo de los recursos hidráulicos del área, a fin de prevenir los posibles riesgos de salud asociados con la presencia del arsénico en el agua destinada al consumo humano.

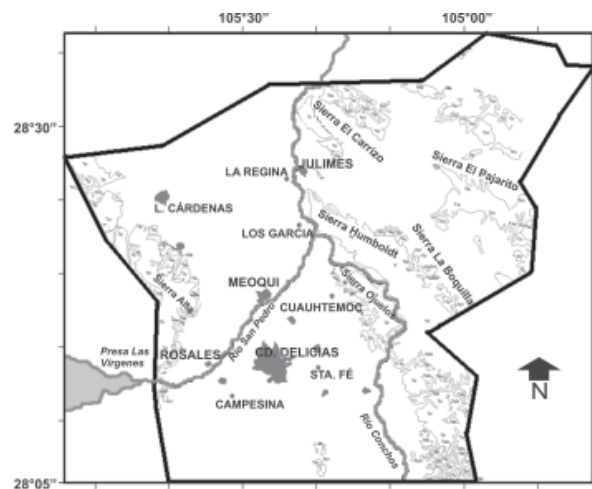
Materiales y métodos

Área de estudio. El área de estudio se ubica entre las coordenadas 28° 05' y 28° 35' de latitud norte y entre 105° 00' y 105° 45' de longitud oeste, en la región hidrológica RH-24 de la vertiente Río Conchos-Bravo. El clima de la zona es muy árido, semicálido, con altas

temperaturas en el verano y frío moderado en el invierno (CNA 2005).

La zona corresponde a la provincia geológica de Chihuahua perteneciente a la provincia fisiográfica de la Mesa Central del Norte; ésta consiste en una altiplanicie inclinada con grandes llanuras y bolsones delimitados e interrumpidos por serranías, la cual también se conoce como Provincia de Sierras y Cuencas.

Figura 1. Área de estudio.



En esta región, además de serranías rodeadas de un lomerío bajo y suave existe una zona montañosa escarpada que ha sido afectada por la erosión eólica y pluvial. La orientación de las sierras coincide con el sentido del flujo de las aguas de los ríos San Pedro y Conchos. Entre las principales sierras se encuentran: El Carrizo, Humboldt, La Boquilla y Ojuelos, Palomas y El Pajarito en la parte oriental de la región, así como la Sierra Alta, en el poniente. La altitud promedio en la zona correspondiente al valle es de 1200 msnm; en las sierras más altas se alcanzan hasta 1500 y 2000 msnm (CNA, 2005) (Figura 1).

Los suelos de la región son primordialmente de tipo aluvial y lacustre con presencia de arcillas en las zonas bajas. Estos suelos son ricos en carbonatos de calcio y sales de sodio, principalmente en lugares con

drenaje deficiente, donde la evaporación es la principal causa de eliminación de agua.

La zona en estudio es atravesada por el río Conchos que fluye en dirección sur a norte, y el río San Pedro, proveniente de la Sierra Tarahumara, que avanza hacia el noreste hasta juntarse con las aguas del primero. El área de estudio colinda al suroeste con la presa Francisco I. Madero (Las Vírgenes).

En las serranías locales nacen varios arroyos que convergen hacia ambos ríos, aunque sólo se les aprecia con agua en época de lluvia. La zona además cuenta con un sistema de canales que se utilizan principalmente para el riego de las áreas de cultivo, y en menor escala, para el consumo del ganado y la pesca (Saucedo, 1996).

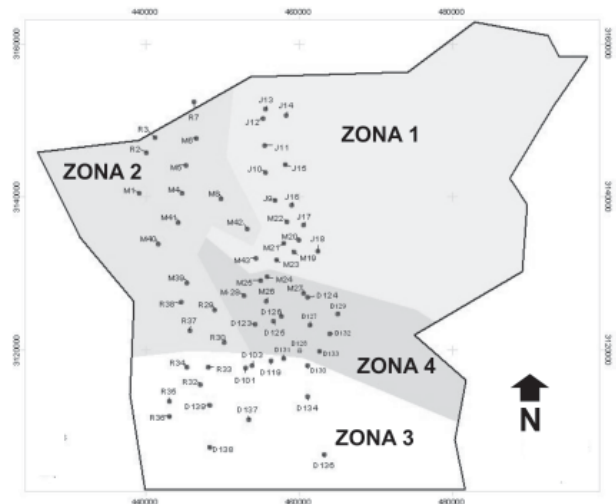
El acuífero se desarrolla en un marco geológico constituido por rocas que abarcan desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. La zona de mayor explotación de agua subterránea corresponde a una primera unidad hidrológica del Reciente, constituida por depósitos aluviales y lacustres. Subyaciendo a esta, se encuentra una segunda unidad formada principalmente por rocas ígneas tales como basaltos, andesitas, riolitas, tobas riolíticas, calizas y conglomerados de permeabilidad media y alta. El depósito está formado por gravas, arenas, limos y arcillas y tiene un espesor de 500 metros que funciona libremente en la mayor parte del acuífero. El flujo subterráneo ocurre en dirección sur a norte en forma paralela al curso del río Conchos, pasando por el Distrito de Riego 05, hasta el río Chuvíscar. En el sur y el suroeste de Delicias se presentan algunas alteraciones de esta trayectoria debido a los abatimientos ocasionadas por la sobreexplotación del acuífero (CNA, 1996).

La recarga de agua subterránea se debe a infiltraciones provenientes de los canales de distribución y de los excedentes de riego, al igual que de los escurrimientos y arroyos que bajan las serranías perimetrales y convergen al centro del acuífero. A pesar de que la precipitación pluvial en el área es pobre, el

carácter poco permeable de las rocas ígneas que forman las serranías alledañas, así como la nula vegetación forestal, son responsables de que cada vez que llueve, tanto el líquido como el sedimento se depositen en el valle. Durante las precipitaciones, la infiltración directa es mínima, debido a la alta evapotranspiración que ocurre en el área (CNA, 1996).

Metodología. Se seleccionaron 61 sitios para colección de muestras para análisis de arsénico considerando todas las fuentes de agua potable de los municipios de Julimes (J), Rosales (R), Meoqui (M) y Delicias (D), ubicados en la sección norte del acuífero (Figura 2). Las muestras fueron colectadas en botellas de plástico y almacenadas en hielo para su preservación y análisis de acuerdo con los procedimientos de la norma oficial mexicana NOM-014-SSA1-1993, entre los meses de noviembre y diciembre de 2006.

Figura 2. Sitios de muestreo.



Durante la etapa de colección de muestras se cuantificaron los sólidos disueltos totales empleando un medidor portátil de la marca HACH Sension 5. Se efectuó la clasificación hidrogeoquímica por familias de las muestras de agua con base en el contenido de los cationes y aniones fundamentales, cuyos análisis fueron

realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua, empleando las técnicas estandarizadas de uso corriente (AWWA, 1992). Los análisis de arsénico total se efectuaron por espectrofotometría de plasma óptico en el Laboratorio del Centro Experimental Chihuahua del Servicio Geológico Mexicano en muestras no preservadas.

Los resultados de los análisis químicos se organizaron en tablas y diagramas hidrogeoquímicos de isolíneas de concentración para relacionarlos geográficamente y observar la evolución espacial del agua en el área de estudio. Ésta se dividió en cuatro zonas, identificadas como zona 1, zona 2, zona 3 y zona 4, tomando como base las características hidrogeoquímicas observadas en cada una de ellas (Figura 2).

Resultados y discusión

Familias de agua.

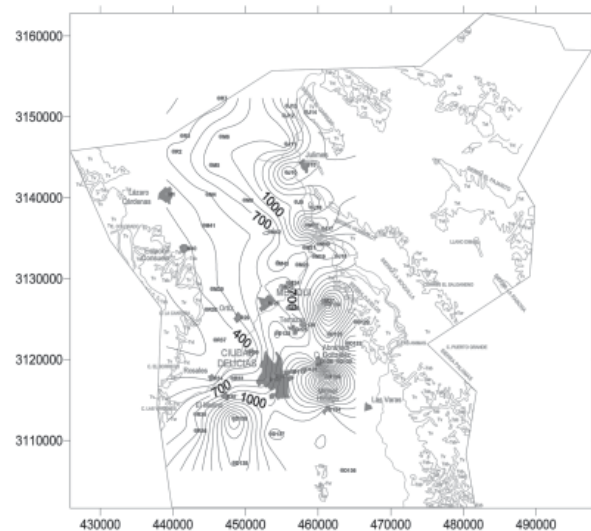
Los resultados de los análisis y la aplicación de técnicas gráficas de interpretación de los mismos revelaron la presencia de aguas preferentemente sulfatadas sódicas en la zona 1, ubicada al norte del área de estudio, en la que dominan las muestras del municipio de Julimes y algunas del este de Meoqui. En la zona 2 que corresponde a los municipios de Meoqui y Rosales, en el noroeste del área, el agua se distinguió por su carácter bicarbonatado o bicarbonatado-sulfatado sódico. En las zonas 3 y 4 correspondientes a los municipios de Rosales, Delicias y parte de Meoqui, se observa un carácter mixto-mixto, es decir, sulfatado-bicarbonatado sódico-cálcico.

Sólidos disueltos totales (SDT).

Los resultados de este parámetro revelaron fluctuaciones entre 284 y 2700 mg SDT/L en el agua subterránea de la zona, resaltando que se supera el máximo valor permitido por la norma de agua potable (1000 mg/L) en varias localidades de los municipios de Delicias y

Julimes, como puede observarse en las curvas de isolíneas de concentración que se muestran en la Figura 3.

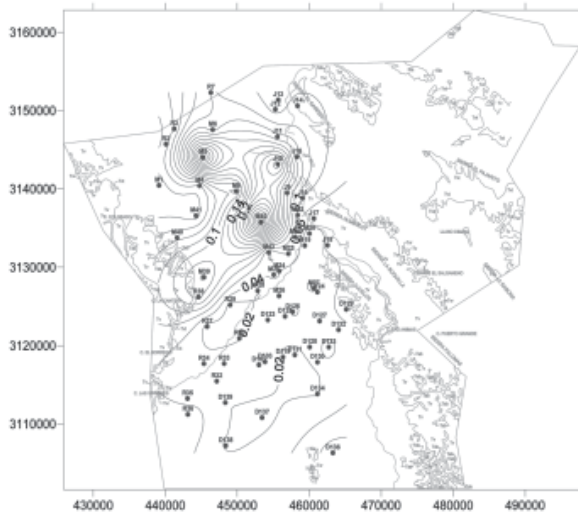
Figura 3. Isolíneas de concentración de sólidos disueltos totales (mg SDT/L)



La tendencia en el incremento de este parámetro indica que el principal flujo subterráneo ocurre en la dirección oeste-noreste. Además de esto, se distinguen entre los ríos Conchos y San Pedro, tres áreas con aumentos de SDT que indica la existencia de flujos locales propiciados por abatimientos en el nivel freático a causa de bombeo excesivo. Las comunidades que presentan tal comportamiento son: Campesina, Santa Fe y Cuahtémoc del municipio de Delicias, al igual que en Los García, de Meoqui y La Regina, de Julimes. Las bajas concentraciones de SDT observados en la porción occidental de la zona, al igual que en la zona ribereña correspondiente al punto de unión de los ríos Conchos y San Pedro, indican la posible ocurrencia de la mezcla de dos tipos de agua: 1) el flujo de la recarga procedente de la Sierra Alta, en la porción occidental, con bajas concentraciones de iones, y 2) el flujo regional proveniente del sur de Delicias, caracterizado por alto contenido de SDT.

Arsénico. La revisión de los contenidos de arsénico reveló que el 72% de las muestras analizadas supera el valor límite de 0.025 mg/L establecido en la norma de agua potable. La distribución espacial de este elemento se exhibe en la curva de isolíneas de la Figura 4. En ella se observa que los valores más altos corresponden a la sección norte del área de estudio, específicamente en los municipios de Julimes y Meoqui, que corresponden a las zonas 1 y 2.

Figura 4. Isolíneas de concentración de arsénico (mg As/L)

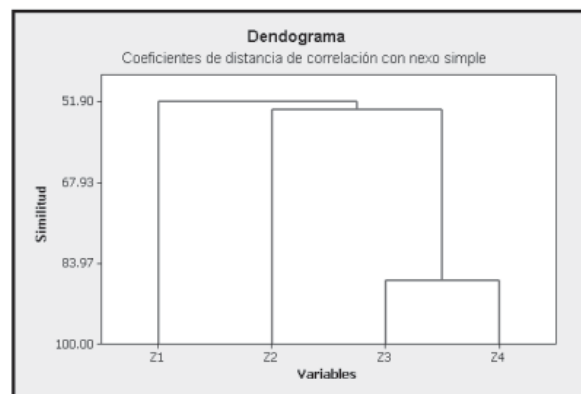


Tomando como variables a las concentraciones de arsénico en cada punto de muestreo de las cuatro zonas estudiadas, se investigó cuáles de ellas poseen valores similares de varianza. Para ello se aplicó el programa MINITAB V15 (© 2007 Minitab Inc), que permite conocer el comportamiento de las componentes principales (autovalores) y los factores principales (autovectores). Por medio de los métodos multivariantes de contraste de caída y criterio de la raíz latente (autovalor), se determinó que de las cuatro zonas analizadas es posible detectar cuáles comportamientos de varianza ejercen mayor influencia. Sólo aparecen con valores de raíz latente mayor que

la unidad las zonas 3 y 4 (Z3 y Z4) y sus relativos valores de correlación altos dan una medida de la similitud de sus comportamientos. La única componente principal se debe a la similitud en el comportamiento de las varianzas de ambas zonas mencionadas. Por tal razón se puede observar que las áreas con bajo contenido de arsénico corresponden con aguas de tipo mixto-mixto que caracteriza tanto a la zona 3 como a la zona 4. El análisis multivariante de las concentraciones de arsénico en las cuatro zonas, corrobora la similitud hidrogeoquímica entre las zonas 3 y 4, lo cual también se puede comprobar en el Dendograma de la Figura 5, relativo a la correlación entre los contenidos de dicho elemento para cada una de las zonas en que se dividió el área de estudio. Por otra parte, como puede observarse en el Cuadro 1, las zonas 3 y 4 muestran un coeficiente de Pearson de 0.75 con una baja probabilidad de dispersión de los datos ($p = 0.002$), lo que indica la confiabilidad del análisis.

La Figura 6 muestra la correlación entre los valores de Z3 (respuesta) y los de Z4 (predictor), con una regresión $R^2 = 56.2\%$, una desviación de la muestra relativamente pequeña de $S = 0.0115$ y una probabilidad de dispersión suficientemente baja (0.002) que indica lo correcto de la aproximación lineal en el análisis.

Figura 5. Dendograma de similitud de variables

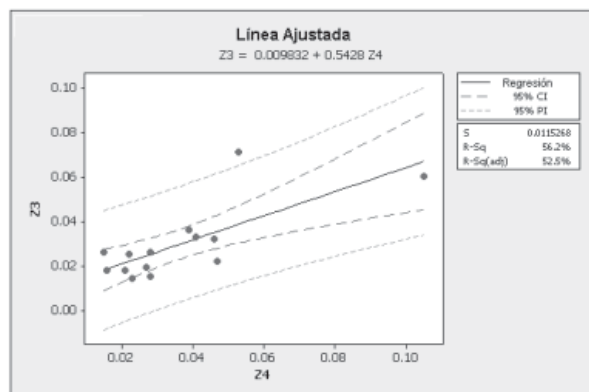


Cuadro 1. Correlación entre los contenidos de arsénico en las Zonas 1, 2, 3 y 4

	Z1	Z2	Z3
Z2	-0.092 0.754		
Z3	-0.030 0.918	0.044 0.882	
Z4	0.038 0.897	0.071 0.808	0.750 0.002

Contenido de celdas: correlación de Pearson
P- Probabilidad de dispersión

Figura 6. Grafica de regresión Z3 y Z4



Los resultados de análisis de arsénico para cada municipio se presentan en la Figura 7. A partir de este gráfico puede observarse que las localidades con los valores superiores a 0.1 mg/L de arsénico son La Regina (J10), San José (J9), La Esperanza (J11) y Julimes (J15), en el municipio de Julimes, con concentraciones de 0.277 mg/L, 0.139 mg/L, 0.125 mg/L, 0.126 mg/L, respectivamente. En el municipio de Meoqui destacan por sus altos valores las comunidades Colonia Progreso (M42), Diez de Mayo (M5), Buenavista (M39), Potrero del Llano (M6) y Cd. Meoqui Pozo 5 (M28), con 0.376 mg/L

0.316 mg/L, 0.144 mg/L, 0.11 mg/L y 0.105 mg/L, de arsénico, respectivamente. Resultan importantes también Orinda (R38) y Salón de Actos (R7) en el municipio de Rosales con 0.128 mg/L y 0.102 mg/L cada una.

En el caso del municipio de Delicias, aunque ninguna de las muestras excede la concentración de 0.1 mg/L, se puede apreciar que el 47 % de ellas supera el límite máximo permitido de 0.025 mg/L por la norma de agua potable.

De acuerdo con los resultados de las Figuras 4 y 7 se puede verificar que Julimes y Meoqui son los municipios más afectados en relación a este parámetro y que, de las 61 muestras analizadas, solamente cuatro pozos del municipio de Meoqui, tres de Rosales y 10 de Delicias poseen concentraciones de arsénico en cumplimiento con la norma de agua potable.

Los altos contenidos de arsénico y sólidos disueltos en la porción noreste, correspondiente al municipio de Julimes (zona 1), tienen explicación en base al fenómeno de termalismo presente en esta zona, donde el agua circula a través de rocas evaporíticas con alto contenido salino. En el área existen algunos brotes naturales de agua con temperatura superior a la media que proceden de capas profundas del acuífero. Podemos pensar que en estos manantiales, que muy probablemente son de origen magmático, las grandes presiones y temperaturas a las que se someten las aguas subterráneas originan un medio reductor con bajo contenido de oxígeno, el cual propicia la disolución de diferentes minerales, incluyendo al arsénico.

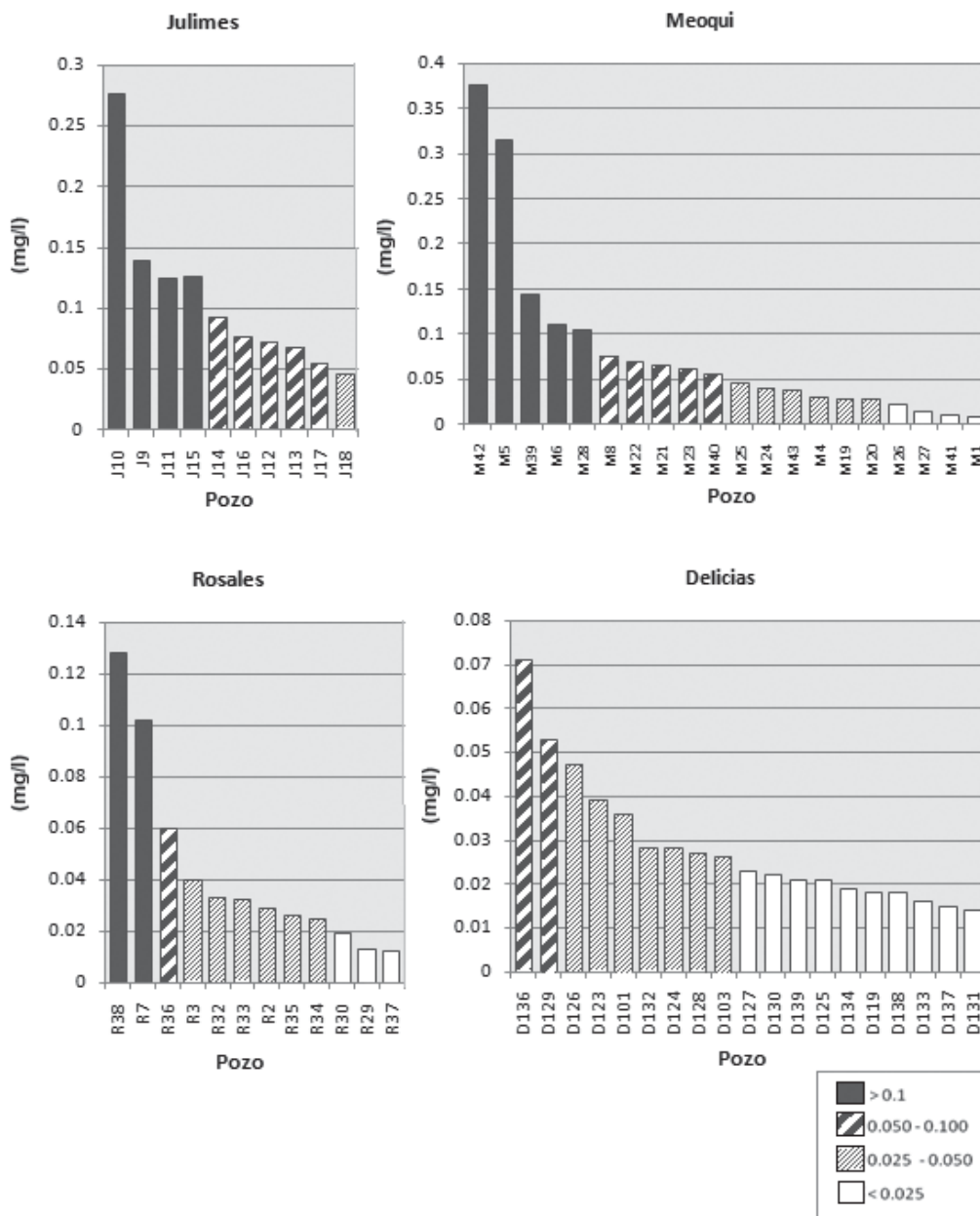
Por otra parte, las altas concentraciones de arsénico detectadas en la región noroeste, correspondiente al municipio de Meoqui (zona 2), pueden estar relacionadas con la solubilidad del ion arsenato HAsO_4^{-2} a partir de los depósitos de arsenopirita, cuya mineralización se relaciona con las rocas ígneas, tales como las riolitas y andesitas basálticas propias de la

región (Hem, 2005). La infiltración del agua a través de los mantos mineralizados ha propiciado su contacto directo con las rocas y sedimentos que contienen arsénico, ocasionando su disolución y en consecuencia, los elevados niveles de este elemento en el acuífero.

Como una medida correctiva, y a fin de

prever los efectos adversos que pueden ser ocasionados por la presencia de arsénico en el agua de consumo, se han instalado plantas desmineralizadoras en la mayoría de los poblados de la región. Estos sistemas funcionan en base a una serie de pasos o etapas que incluyen la desinfección del agua mediante aplicación de cloro, la eliminación de

Figura 7. Concentraciones de arsénico (mg/L) en los municipios de Julimes, Meoqui, Rosales y Delicias



dureza a través de resinas de intercambio iónico y, lo que es la parte esencial del tratamiento, la desmineralización del agua mediante el empleo de membranas de ósmosis inversa. De este modo, a pesar de los altos niveles de arsénico en el acuífero, los habitantes de las áreas afectadas utilizan agua con bajo contenido salino para su abastecimiento diario. Con esta alternativa de tratamiento se ha logrado frenar el consumo prolongado de altas concentraciones de arsénico, evitando el incremento en los posibles impactos negativos en la salud de los consumidores.

Conclusiones

El análisis de arsénico en el área reveló que el 72 % de las muestras estudiadas supera el valor límite de 0.025 mg/L establecido en la norma de agua potable, siendo más afectados los municipios de Julimes y Meoqui.

La aplicación del análisis multivariante a los datos de concentración de arsénico en relación a su distribución espacial reveló la similitud entre las zonas de bajo contenido de arsénico (zonas 3 y 4) cuyas características hidrogeoquímicas también coinciden, ya que se trata de aguas de tipo sulfatado-bicarbonatado sódico-cálcico, es decir, un carácter mixto-mixto, que denota la influencia de dos tipos de agua que se mezclan, siendo éstas la recarga procedente de la Sierra Alta y el flujo regional proveniente del sur de Delicias.

La presencia del arsénico en altas concentraciones en el municipio de Julimes (zona 1) se asocia al fenómeno de termalismo manifiesto por la presencia de manantiales en esta área.

En la zona noroeste (zona 2), en donde se ubica la mayoría de las localidades de Meoqui, el arsénico disuelto se relaciona con las características geológicas de las montañas aledañas al valle, ya que dichas formaciones están constituidas por rocas ígneas (riolitas andesíticas y basálticas) asociadas a depósitos de arsenopirita que alimentan al acuífero a través de los escurrimientos laterales.

Además de las características hidrogeoquímicas señaladas, el esquema actual de sobreexplotación que se traduce en el minado de grandes volúmenes de agua subterránea es responsable del incremento reciente en las concentraciones de arsénico y de otras sales disueltas indicadoras del deterioro de la calidad del agua. En este caso, la disolución de estratos minerales que se encuentran a mayores profundidades en el acuífero, en donde es mayor tiempo de retención del agua, se ha traducido en la movilización de grandes cantidades de iones.

La existencia de sistemas para la desmineralización del agua de consumo sin duda representa una alternativa viable para la prevención de los efectos que el arsénico puede ocasionar en la salud de los usuarios a través del agua de consumo. Sin embargo, para que esta medida sea exitosa se requiere asegurar la participación de la población, tanto en el uso como en la adecuada operación de los equipos de tratamiento. En este caso se requiere también la definición de lineamientos para el manejo adecuado de los residuos con alto contenido salino que se producen como desechos del sistema.

En el caso del agua utilizada con fines agrícolas, es conveniente realizar una estimación anual de la aplicación de arsénico a los cultivos a través del agua de riego, así como la evaluación a mediano y largo plazo del impacto que genera esta práctica.

Los resultados de este estudio expresan la distribución del arsénico y las relaciones entre las características hidrogeoquímicas derivadas de la litología del área de estudio y su contenido en el agua subterránea. Esta información puede impactar en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo regional y el manejo de los recursos hidrológicos por parte de las autoridades correspondientes, a fin de prevenir posibles riesgos de salud relacionados con la presencia de arsénico en el agua de consumo de las comunidades expuestas.

Agradecimientos

Esta investigación se llevó a cabo gracias al apoyo financiero otorgado por el Programa del Mejoramiento del Profesorado (PROMEP).

Literatura citada

- ARMIENTA, M. A., G. Villaseñor, R. Rodríguez, L. K. Ongley and H. Mango. 2001. The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapán Valley, Mexico. *Environmental Geology*. Volume 40, Numbers 4-5. pags. 571-581.
- ARMIENTA, M., y N. Segovia. 2008. Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico. *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 30, No. 4 (2008), pp. 345-353.
- AWWA, American Water Works Association, 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastwater*. 18th Edition.
- BARRERA, Y. 2008. Estudio hidrogeoquímico y de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua. Tesis de Maestría en Hidrología Subterránea. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- BOOCHS, P. W., M. Billib, J. Aparicio and C. Gutiérrez. 2007. Management of arsenic groundwater System Lagunera-Mexico. American Geophysical Union. Fall Meeting 2007, Abstract #42A-05.
- CASTRO, M. L. 2004. Arsénico en el agua de bebida de América Latina y su efecto en la salud pública. OPS/CEPIS/05/134(LAB). HDT-95
- CNA, Comisión Nacional del Agua, 1996. Simulación hidrodinámica y diseño óptimo de las redes de observación de los acuíferos de Cd. Juárez y Delicias.
- CNA, Comisión Nacional del Agua. 2005. Actualización del estudio Geohidrológico del Acuífero Meoqui- Delicias.
- COLE, J. M., M. C. Ryan, S. Smith and D. Bethune. 2004. Arsenic source and fate at a village drinking water supply in Mexico and its relationship to sewage contamination. *Natural Arsenic in Groundwater: Occurrence, Remediation and Management*. Balkema Press (Ed. Bundschih, Bhattacharya, and Chandrasekhara). Pp. 77-84.
- HEM, J. D. 2005. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. Reimpresión de la edición de 1970. U. S. Geological Survey. E.U.A.
- HURTADO-JIMÉNEZ, R. and J. L. Gardea-Torresdey. 2006. Arsenic in drinking water in the Los Altos de Jalisco region of Mexico. *Pan American Journal of Public Health*. Volume 20 (4). October 31. pages 236-247.
- MODIFICACIÓN A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994. 1998. 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. México, D. F.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-014-SSA1-1993. 1994. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Secretaría de Salud. México, D. F.
- NRC. National Research Council. 1999. Arsenic in Drinking Water. Subcommittee on Arsenic in Drinking Water, Comité on Toxicology. National Academy Press.
- NÚÑEZ-LÓPEZ, D., C. A. Muñoz-Robles, V. Reyes-Gómez, I. Velasco-Velasco, & H. Gadsden-Esparza. 2007. Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México. *Agrociencia*, Vol. 41, No. 3, pags. 253-262.
- ORTEGA-GUERRERO, M. A. 2009. Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen del arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de Cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16, 143-161.
- SAFIUDDIN, Md. & Md. Masud Karim. 2001. Groundwater arsenic contamination in Bangladesh: causes, effects and remediation. *Proceedings of the 1st IEB International Conference and 7th Annual Paper Meet*; November.
- SAUCEDO, R. 1996. La calidad del agua y el uso de fertilizantes y plaguicidas en los municipios de Delicias, Rosales y Meoqui del Estado de Chihuahua. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- TWB. The World Bank. 2005. Towards a more effective operational response. Arsenic contamination of groundwater in South and East Asian Countries. Report No. 31303. April.
- WELCH, A. H., D. R. Helsel, M. J. Focazio and S. A. Watkins. 1999. Arsenic in groundwater supplies of the United States, in: *Arsenic exposure and health effects*, W. R. Chapell, C. O. Abernathy and R. L. Calderon, Eds., Elsevier Science, New York, pp. 9-17.
- WHO, World Health Organization. 2001. Arsenic in drinking water. Fact sheet No. 210. May.
- © 2007 Minitab Inc. All rights reserved. MINITAB® and the MINITAB logo™.

Este artículo es citado así:

Espino-Valdés M. S., Yaravi Barrera-Prieto y Eduardo Herrera-Peraza. 2009: *Presencia de arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua, México*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 3(1): 8-18.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

MARÍA SOCORRO ESPINO VALDÉS. En 1973 obtuvo el título de Ingeniero Químico por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores del Monterrey (ITESM) campus Monterrey. En 1984 se graduó como Maestro en Ciencias en el programa de Biotecnología Ambiental del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, en México, D. F. En 2003 obtuvo el grado de Doctor en Ciencia y Tecnología Ambiental otorgado por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), en Chihuahua, Chih. Se ha desempeñado como docente en las áreas de hidrogeoquímica, ciencias ambientales y matemáticas. Ha realizado diversos trabajos de investigación y dirigido 3 tesis de licenciatura y 11 de maestría relacionadas con el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales y con el área de Hidrogeoquímica. Ha colaborado en proyectos de desarrollo asociados al manejo sustentable de lodos residuales. Es autora de varios artículos técnico-científicos publicados en revistas de arbitraje y ha participado como ponente en varios congresos nacionales y extranjeros.

YARAVI BARRERA PRIETO. En el año de 1997 obtuvo el título de Ingeniero en Ecología otorgado por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Cursó la Maestría en Hidrología Subterránea en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua y obtuvo el grado correspondiente en 2006. Ha desarrollado diversos trabajos relacionados con el manejo de recursos naturales como inventarios de flora, ordenamiento ecológico e impacto y riesgo ambiental. Se ha desempeñado como docente en las áreas de ciencias ambientales y en programas de idioma extranjero (inglés). Ha sido coautora en varias ponencias relacionadas con la calidad del agua en el estado de Chihuahua.

EDUARDO HERRERA PERAZA. En 1996 obtuvo el grado de Doctor en ciencias físicas por la Universidad de La Habana, Cuba. Se desempeña como Investigador Titular B en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV), en el área de Medio Ambiente y Energía. Su línea de investigación es sobre Contaminación Atmosférica. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel I. Tiene diversas publicaciones en revistas arbitradas e indizadas a nivel nacional e internacional. Es miembro honorario del Colegio de Ingenieros en Ecología. Imparte diversos cursos y ha participado como ponente en varios congresos a nivel nacional.