

# ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL ACUÍFERO CUENCA ALTA DEL RÍO LAJA

CRUZ HERNANDEZ ISMAEL <sup>(1)</sup>, LARA TOVAR KIMBERLEY ITZEL <sup>(2)</sup>, LI YANMEI <sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> [Licenciatura en Biología Marina y Manejo Integral de Cuencas, División Centro de Investigaciones Costeras, Campus Tonalá, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas] | Dirección de correo electrónico: [mayer\_10\_46@hotmail.com]

<sup>2</sup> [Departamento de Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [kimberley\_lara27@hotmail.com]

<sup>3,\*</sup> Autor para la correspondencia. [Departamento de Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [yanmeili@ugto.mx]

## Resumen

Se realizó un estudio descriptivo del agua en el acuífero Cuenca Alta del Río Laja, con el objetivo de determinar la concentración de arsénico en el agua potable. Se analizaron 15 muestras de agua obtenida de los pozos pertenecientes al municipio de Dolores Hidalgo, el contenido de arsénico fue analizado y cuantificado mediante el método volumétrico modelo "Arsenator" que es un método apropiado para la determinación de arsénico total en agua para uso y consumo humano con límites de detección de 2 µg/L (ppb) a 100 µg/L (ppb). Además, se determinó la calidad del agua subterránea con la medición SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> y los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad y dureza total. Los niveles de As detectados en el agua de la mayoría de los pozos muestreados de la zona de estudio variaron entre 0-0.025 mg/L, con una concentración promedio de 0.058 mg/L, los cuales son menores a los límites máximos permisibles que establece la NOM-127. De no establecerse criterios y políticas adecuadas de manejo del acuífero, es de esperarse que incrementen con el tiempo áreas impactadas por la presencia de altas concentraciones de As, con efectos progresivamente mayores tanto a la salud de la población como al ambiente.

## Abstract

A descriptive study has been made for the water in the aquifer Cuenca Alta de Río Laja, with the objective to determine the concentration of arsenic in drinking water. 15 samples were collected from wells of the municipality of Dolores Hidalgo, the arsenic content was quantified and analyzed by the volumetric method "arsenator" which is an appropriate method for the determination of total arsenic in water for human use and consumption with detection limits of 2 µg/L (ppb) to 100 µg/L (ppb). Furthermore, the quality of groundwater with measurement SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> and physic-chemical parameters of temperature, pH, electrical conductivity, alkalinity and total hardness were determined. The levels of arsenic detected in water of most of the wells sampled in the study area ranged from 0-0.025 mg/L, with an average concentration of 0.058 mg/L, which is less than the maximum permissible limits set by NOM-127. If criteria and policies for groundwater management are not established expected increases will take place with time that the impacted areas by the presence of high concentrations of arsenic, which would affect the health of the inhabitants and the environment as well.

## Palabras Clave

1. Calidad del agua; 2. Salud humana; 3. Análisis químicos; 4. Pozos; 5. NOM

## INTRODUCCIÓN

El agua subterránea constituye la mayor reserva de agua potable en el mundo por ello, es primordial conservarla y mantenerla libre de contaminación antropogénica, sin embargo, la composición geomorfológica en diferentes regiones del planeta determina la presencia en el agua subterránea de varios elementos y compuestos inorgánicos potencialmente nocivos para el humano como es el caso del arsénico.

El arsénico (As) se encuentra en forma natural en rocas sedimentarias y volcánicas, así como en aguas geotermales. Se presenta como impureza en los depósitos mineros en forma de sulfuro de arsénico y arsenopirita, o como arseniato y arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. El As está presente en el agua por disolución natural de minerales de depósitos geológicos, la descarga de efluentes industriales y la sedimentación atmosférica.

La contaminación por As total inorgánico disueltos en agua subterránea destinada a consumo humano, es un problema epidémico en el mundo<sup>[1]</sup>. La Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) y la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (U.S. EPA, por sus siglas en inglés) recomiendan una concentración máxima para el arsénico en agua potable de 0.01 mg/L; en el caso de México se ha establecido un límite máximo de 0.025 mg/L<sup>[2]</sup>.

La exposición crónica a concentraciones de arsénico en agua significativamente mayores a 0.05 mg/L, resulta en serios problemas de salud epidérmicos, cardiovasculares, renales, hematológicos y respiratorios<sup>[3]</sup>.

La Comisión Nacional del Agua reconoce problemas locales de arsénico en diferentes acuíferos granulares del centro y noroeste de México<sup>[4]</sup>.

En la ciudad de Guanajuato en el 2003, estudios realizados por Carrillo-Chávez reflejan que las concentraciones de arsénico en el agua subterránea se encontraban por debajo de los límites máximos permisibles que iban de 0.002-0.01 mg/L<sup>[5]</sup>.

Ortega-Guerrero en el 2001 analizó 246 pozos, sus resultados indican la presencia de altas concentraciones de arsénico en la porción noroeste de la cuenca que superan los límites máximos permisibles (0.025-0.12 mg/L)<sup>[6]</sup>.

Estudios del centro de Geociencias (UNAM) ha documentado que la zona donde hay mayor expansión de pozos contaminados por arsénico se ubica en los acuíferos del río Laja y Laguna Seca<sup>[7]</sup>.

El valle de la independencia central de México, que depende en gran medida de los recursos de aguas subterráneas, ha experimentado un crecimiento masivo de la población y la expansión de la agricultura en las últimas décadas<sup>[8]</sup>.

Las agencias estatales y locales han demostrado que las presiones impuestas por el crecimiento de la población y el desarrollo socioeconómico han dado lugar a disminuciones en los niveles de agua subterránea en exceso de 0,8 a 1,2 m por año durante la última década<sup>[9]</sup>.

La producción de 2.500 pozos profundos en el valle de la Independencia han causado cambios en la dirección del flujo de agua subterránea, una reducción continua del número y descarga de los manantiales y las aguas superficiales, y un deterioro de las condiciones de los ecosistemas<sup>[10]</sup>.

El presente trabajo pretende estudiar la presencia y distribución del arsénico inorgánico total (As) disueltos en el agua subterránea del acuífero Cuenca Alta del Río Laja, ya que presenta una amenaza en la calidad del agua que al consumirla conlleva a efectos en la salud humana. La importancia de la calidad del agua subterránea estriba en que es la principal fuente de abastecimiento de aguas para las comunidades aledañas a la parte alta de la cuenca, por lo cual la determinación del arsénico es de suma importancia en la zona de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestras de agua subterránea

Las muestras de agua para análisis químicos se colectaron en pozos cuya profundidad total varió entre 150 y 260 metros. Se colectaron un total de

15 muestras para análisis químicos. Las muestras fueron colectadas en cuatro días diferentes en la región de Dolores Hidalgo, el primero 28 de junio, el segundo 29 de junio, el tercero 01 de Julio y el cuarto 04 de julio del presente año.

El muestreo de agua se realizó de acuerdo a la NOM-014-SSA1-1993, se utilizaron envases de polipropileno con tapones del mismo material de boca ancha con capacidad de 1L previamente enjuagados con agua desionizada.

Durante la toma de muestras con ayuda del equipo YSI Professional Plus se midió la temperatura, pH, presión, ORP y conductividad eléctrica en campo, así mismo, con el Kit de Test de calidad del agua se determinaron los siguientes parámetros, en rangos bajos: cloruros, dureza, sulfitos, hierro y alcalinidad en cada pozo. Previa calibración de los equipos de medición. Todas las muestras para análisis químicos se filtraron a través de filtros de 0.45 micrómetros y en el laboratorio la muestra se preservó en la oscuridad en refrigeración a una temperatura de 4°C de acuerdo al método 1060 de Standard Methods.

De igual manera se realizó una encuesta al encargado del pozo para conocer información básica, de diseño y características físicas del acuífero y del pozo.

### Análisis químicos

Los análisis químicos para arsénico total se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (La Perlita) de la universidad de Guanajuato. Las muestras se analizaron a través del método volumétrico modelo Arsenator que es un fotómetro digital portátil para realizar pruebas de arsénico total en agua, tanto en campo como en laboratorio con un rango de medición: 2 µg/L (ppb) a 100 µg/L (ppb).

- 1) Se etiquetaron las muestras con nombre y fecha, en seguida se medían 50 ml de las muestras para el inicio del proceso.
- 2) Para comenzar el análisis se colocó el papel filtro para la prueba de arsénico, en el filtro del lisante negro. Se repitió la misma operación para el filtro del lisante

rojo considerando el envase de tiras reactivas etiquetadas para este color.

- 3) En seguida se tomó la trampa trifiltro para insertar en la parte inferior del sistema el filtro de eliminación de sulfuro de hidrogeno.
- 4) Una vez encendido el equipo se procedió a realizar el blanco con el filtro de lisante negro esperando unos segundos y retiramos, para así tomar la trampa trifiltro e insertar los filtros de lisantes rojo y negro.
- 5) Se agregó el reactivo A1 compuesto por ácido sulfáminico al matraz, así mismo, los 50 ml de muestra. Se añadió la pastilla del envase contenedor de las tabletas A2 compuestas por cloruro de sodio colocando inmediatamente la trampa trifiltro en el matraz.
- 6) Verificamos el tiempo en el contador del equipo medido que mayor de 15 minutos que toma la reacción completa, pasado ese tiempo se tomó la trampa trifiltro retirando el filtro del lisante negro e insertamos en el equipo para obtener la lectura del parámetro en pantalla.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Zona de estudio

La cuenca del Río Laja se encuentra situada en el altiplano central de México, es una cuenca sedimentaria y cubre una superficie de aproximadamente 6,840 km<sup>2</sup>, con elevaciones que van de los 1,850 m.s.n.m a 3,400 m.s.n.m (Imagen 1). El clima que presenta la cuenca es semiárido y en las zonas montañosas semihúmedo, con una precipitación media anual de 400-800mm. La temperatura media anual varía entre los 17.1 y 21 °C, con una evapotranspiración de 518 mm/año<sup>[11]</sup>.

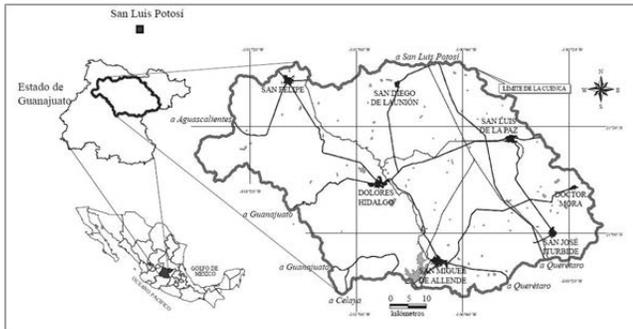


IMAGEN 1: Localización del área de estudio en el estado de Guanajuato<sup>[12]</sup>.

La imagen 2 muestra la ubicación de los 15 pozos donde se obtuvieron las muestras de agua en el interior de la cuenca alta del río Laja.

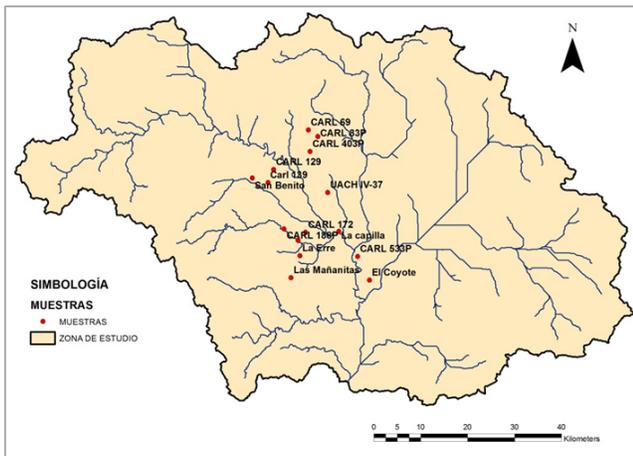


IMAGEN 2: Localización de los pozos donde se recolectó muestras de agua subterránea.

### Arsénico

Las concentraciones de arsénico total varían entre 0-0.025 mg/L con un promedio de 0.058 mg/L de las 15 muestras recolectadas en el municipio de Dolores Hidalgo Guanajuato. Ninguna de las muestras excede el límite máximo permisible nacional para México de 0.025 mg/L.

El análisis del presente trabajo se enfoca principalmente en la distribución del arsénico en el agua subterránea, por lo que se presenta las concentraciones en la imagen 3 y 4.

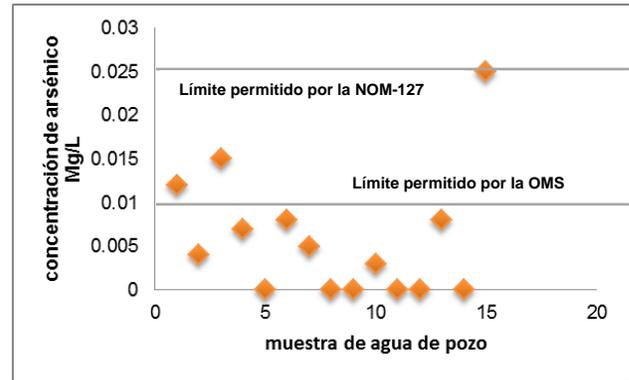


IMAGEN 3: Concentración de arsénico por muestras de agua.

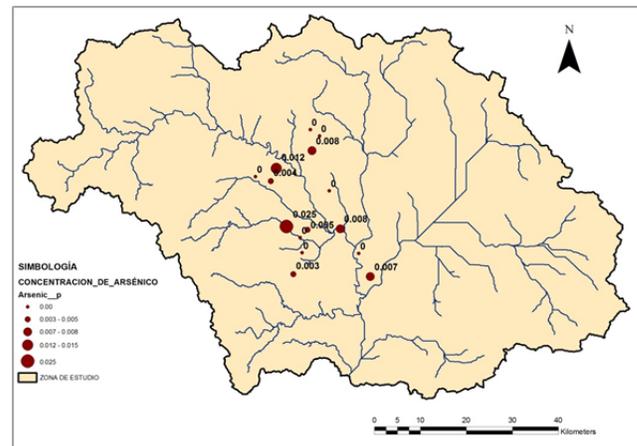


IMAGEN 4: Concentración de As disuelto en agua subterránea del acuífero Cuenca Alta de Río Laja (mg/L).

El rango de arsénico disuelto en el agua de los pozos muestreados indica que el 80% (12 pozos) se encuentran entre una concentración de 0-0.01 mg/L, mientras el 20% (3 pozos) presentan mayor de 0.01 mg/L que esta fuera del límite permitido de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### Calidad del agua subterránea

Los resultados promedios obtenidos de las características físicas y algunas de las características químicas se muestran en la tabla 1. Estos resultados se compararon con la NOM-127, en cuanto a la calidad del agua se encontró que solo el pH en uno de los pozos (CARL 188P) analizados se encuentra por arriba del valor límite de la NOM-127. Para alcalinidad total que no está

en la NOM-127, se tomó como referencia la NOM-041.

Tabla 1: Resultados obtenidos para los componentes principales en las 15 muestras de agua subterránea de los pozos de Dolores Hidalgo, Gto.

Características	Concentración promedio	Intervalo De concentración	Limite permisible (NOM 127)
pH	7.81	7.47-8.51	6.5-8.5
Cond. Eléctrica $\mu\text{S/cm}$	441.1	152.6-654	1500
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	29	19.9-36.7	
Alcalinidad Total, mg/L $\text{CaCO}_3$	144.07	12-264	300
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	92.25	12-153	500
Cloruros, mg/L	11.71	3-20	250
Sulfatos, mg/L	7.24	1.8-37	400

La temperatura del agua subterránea varía entre 19 y 37  $^{\circ}\text{C}$ , con un promedio de 29  $^{\circ}\text{C}$  ( $n=15$ ). Las temperaturas dominantes en el agua subterránea son de entre 25 y 30  $^{\circ}\text{C}$ . Los valores de pH varían entre 7 y 9, con un valor promedio 7.81 ( $n=15$ ). La conductividad eléctrica del agua subterránea, varía en general entre 150 y 700  $\mu\text{S/cm}$ , con un valor promedio de 444.1  $\mu\text{S/cm}$ . Indican que el agua subterránea es fresca.

Los resultados de arsénico obtenidos y comparados con el estudio del 2015 del mismo grupo hacen deducir que las altas concentraciones provienen de aguas profundas. En año 2015 las profundidades de los pozos muestreados variaron entre los 8-500 metros con una concentración de As entre  $<0.01-0.025$  mg/L. Los pozos muestreados en año 2016 presentaron una profundidad entre los 150 y 260 metros con concentraciones de As de  $0-0.025$ , las cuales son parecidas como las del año anterior.

Estudios de la UNAM demuestran que el As se encuentra en grandes volúmenes provenientes de las aguas más profundas debido a la sobreexplotación y al material del acuífero. El agua con arsénico que proviene de flujos profundos está ascendiendo al acuífero superior desde rocas fracturadas de origen volcánico, en agua termal que asciende por densidad.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró que la determinación de As en agua subterránea por el método volumétrico modelo "Arsenator", produce resultados confiables de acuerdo a las características analíticas. El método empleado es de sencilla operación, con una alta sensibilidad lo cual lo hace muy atractivo para los análisis de As en muestras de agua para uso y consumo humano.

El As total encontrado en el agua muestran que el 100% de los pozos muestreados que abastecen a parte de la población de Dolores Hidalgo, es menor a los límites máximos permisibles que establece la NOM-127, pero hay 3 pozos que están fuera del límite permitido de la OMS.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen patente su agradecimiento al apoyo siempre brindado de la Dra. Alma Hortensia Serafín Muñoz por su colaboración en los análisis de arsénico total.

## REFERENCIAS

- [1] Amini, M., Abbaspour, K.C., Berg, M., Winkel, M., Hug, S.J., Hoehn, E., Johnson, A., 2008, Statistical modelling of global geogenic arsenic contamination in groundwater: Environmental Science & Technology, 42, 3669-3675.
- [2] Norma Oficial Mexicana (NOM), 2000, Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización: México, Secretaría de Salud, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de noviembre de 2000.

- [3] Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G., 2002, A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters: Applied Geochemistry, 17, 517-568.
- [4] Soto, P., Lara, F. Portillo, L., Cianca, A. 2004. An overview of arsenic's groundwater occurrence in México, *en XXXIII International Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH)*, Zacatecas, México.
- [5] Carrillo-Chávez, A., Morton-Bermea, O., González Partida, E., Rivas-Solórzano, H., Oesler, G., García-Meza, V., Hernández, E., Morales, P. & Cienfuegos, E. 2003. Environmental geochemistry of the Guanajuato Mining District, Mexico. *Ore Geology Reviews*, 23: 277-297.
- [6] Ortega-Guerrero, M.A., 2001. Estudio del acuífero del Río La Laja, municipios de Dolores Hidalgo, San Miguel de Allende, y San Felipe: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Reporte Interno, mapas y texto.
- [7] Rodríguez, E. D. (01 de diciembre de 2015). Se duplica arsénico en agua, según estudio de la UNAM. *El universal*, pág. 2.
- [8] SAGAR, 1999. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos, 1998 [Statistical handbook of the agricultural production in Mexico, 1998]. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Hidráulicos México, D.F. 308 pp.
- [9] CEAG, 2001. Piezometría Río Laja – San Felipe, Laguna Seca. Lluvias y Secas; September 1997 – November 2000 [Piezometry of Río Laja-San Felipe, Laguna Seca. Rain and Dry seasons; September 1997 – November 2000]. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, Guanajuato, Mexico.
- [10] Navarro de León, I., Garfias-Soliz, J., Mahlknecht, J., 2005. Groundwater flow regime under natural conditions as inferred from evidence and field observations in a semi-arid basin: Cuenca de la Independencia, Guanajuato, México. *J. Arid Environ.* (accepted).
- [11] Mahlknecht, J., 2003. Estimation of recharge in the Independence aquifer, central Mexico, by combining geochemical and groundwater flow models. PhD thesis, Institute of Applied Geology, University of Agricultural and Life Sciences (BOKU) Vienna, Austria, 296 pp.
- [12] Ortega-Guerrero, M.A., Castellanos, J.Z., Aguilar G.R., Vázquez-Alarcón, A., Alanís-R., E., Vargas-C., C., Urrutia-E., F., 2002, A conceptual model for increases of sodium, sar, alkalinity and ph at the independence aquifer in Guanajuato, Mexico: *TERRA Latinoamericana*, 20(2), 199-207