

Distribución geográfica de arsénico en acuífero de los Valles Centrales de Oaxaca, México

M. en I. Manuel Aragón-Sulik
CIIDIR-OAXACA, Instituto Politécnico Nacional, México.
email: maragon@ipn.mx

Dr. Oscar Escolero Fuentes.
Instituto de Geología, UNAM, D.F., México.
email: escolero@geologia.unam.mx

M. en C. Susana Navarro Mendoza
CIIDIR-OAXACA, Instituto Politécnico Nacional, México
email: susciidir@hotmail.com

M. en C. Margarito Ortiz Guzmán
CIIDIR-OAXACA, Instituto Politécnico Nacional, México
email: Margarito_og@yahoo.com

RESUMEN

Se identificó la existencia y distribución geográfica de contaminación por arsénico total en el acuífero de los valles centrales de Oaxaca. Mediante el muestreo en pozos de agua para uso y consumo humano se identificaron sitios que superan la Norma Oficial Mexicana. Se emplearon técnicas analíticas de espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente. Los resultados muestran valores máximos de arsénico de 174 $\mu\text{g/L}$, además no se encontró correlación con otros metaloides o elementos.

Palabras clave: aguas subterráneas, arsénico, contaminación, valles centrales de Oaxaca.

Geographic distribution of arsenic in the aquifer of Central Valley, Oaxaca, Mexico

Total arsenic was identified and its geographic distribution was assessed in the aquifer of Central Valley of Oaxaca, Mexico. Samples were taken in water wells for human use and consumption that exceeded the Mexican Official Standard. By the technique of atomic emission spectroscopy with inductively coupled plasma a maximum value of arsenic of 174 $\mu\text{g/L}$ was obtained. In the samples no correlation was obtained with others metalloids or elements.

Keywords: groundwater, arsenic, contamination, central valleys of Oaxaca.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, aunado al déficit de agua potable, el deterioro de la calidad de agua subterránea va en aumento. La extracción intensiva de agua subterránea es un factor importante que ha modificado las condiciones hidrogeoquímicas de los acuíferos (Esteller et al. 2012). De los eventos que promueven tal extracción se mencionan principalmente:

1. El ingreso del agua subterránea antigua con mucho tiempo de residencia y una composición química distintiva en la zona de producción.
2. La incorporación de aguas jóvenes y someras que pueden estar contaminadas por procesos antrópicos.

De la diversidad de contaminantes naturales que existen, uno muy importante por los efectos nocivos a la salud humana corresponde al arsénico (As). Las concentraciones del As son usualmente bajas, pero en algunas circunstancias pueden exceder las establecidas por las normas y causar daños potenciales a la salud.

Existe un sinnúmero de documentos que expresan los efectos adversos en la salud al ingerir agua potable con As. La exposición crónica a este metaloide en concentraciones significativas mayores de 50 µg/L son severas e incluyen: problemas de salud en la piel, cardiovasculares, renales, hematológicos y respiratorios (Smedley y Kinninburg 2002). La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US EPA, por su siglas en inglés) categoriza al arsénico como un cancerígeno de clase A, la toxicidad del arsénico es tal que una pequeña cantidad es suficiente para contaminar el agua (Smedley y Kinninburg 2002).

Para un menor daño sanitario diversas instancias han reducido sus límites permisibles para consumo humano, así la Organización Mundial de la Salud tiene un valor de 10 µg/L. En México, la Norma Oficial Mexicana define un valor de 50 µg/L (Secretaría de Salud 1994).

Se han detectado en diversos países concentraciones superiores a las normas ambientales como Argentina, Camboya, China, Japón, Nepal, Pakistán, Filipinas y en especial Bangladesh en la India (Singh 2006). Las causas de contaminación son variadas desde cambios rápidos del medio ambiente reductor, desorción y disolución de arsénico proveniente de óxidos de fierro, flujo lento que permite su liberación, entre otros (Kinninburg et al. 2003), (Singh 2006). Muchas rocas ígneas y metamórficas tienen concentraciones de As de 1-10 mg/kg, concentraciones similares se encuentran en minerales carbonatados y rocas (Plant et al. 2003).

En el caso de México principalmente en la parte norte y centro existen altas concentraciones de arsénico, ya sea por la propia geología, actividades mineras, yacimientos hidrotermales, favorecidos por factores como altas temperaturas ambientales que incrementan la evaporación, además del aprovechamiento intensivo de los acuíferos (Leal y Gelover 2003), (Ortega 2009).

En los últimos años, las concentraciones de arsénico en el medioambiente natural se han incrementado por diversas actividades. En el caso de los valles centrales de Oaxaca, el conocimiento relacionado con el arsénico en el acuífero subterráneo es incipiente, solamente se han detectado por parte de la Secretaría de Salud dos pozos contaminados. Caballero (2010) realizó un estudio de la presencia del arsénico asociado a cultivos de tomates. De las actividades con posibilidades para aportar este contaminante para la zona de estudio se identificaron los

siguientes: químicos para la preservación de la madera y empleo de fertilizantes, siendo estas actividades muy localizadas.

El objetivo de la investigación tiene dos vertientes, primero comprobar la existencia de arsénico en pozos de agua para uso y consumo humano y segundo determinar su alcance geográfico. Por lo que se planteó la hipótesis siguiente: por los antecedentes puntuales existe la posibilidad de la presencia del arsénico, y que por la dinámica del agua subterránea existe un patrón de distribución en la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Los valles centrales de Oaxaca se componen de tres acuíferos: Etna, Tlacolula y Zimatlán, este trabajo se centró en la parte norte del acuífero de Etna, donde se encuentra la mayor área de recarga difusa y por su geología, el valle de Tlacolula, cuyos límites geográficos se encuentran entre las coordenadas Latitud Norte $16^{\circ}45'$ - $17^{\circ}30'$ y Longitud Oeste $96^{\circ}15'$ - $97^{\circ}10'$ (figura 1).

En su geología está constituido por una formación aluvial, como la unidad hidrogeológica más importante, existen sedimentos no consolidados tales como cantos rodados, gravas, arenas arcillas y limos formando una mezcla heterogénea, en un espesor variable (Belmonte 2005).

El clima principal que prevalece de acuerdo con la clasificación de Köppen, es semicálido y semihúmedo, y en las sierras circundantes es templado semihúmedo. La precipitación media anual es de 666 mm/año, con temperatura promedio anual de 16°C (IMTA 2009).

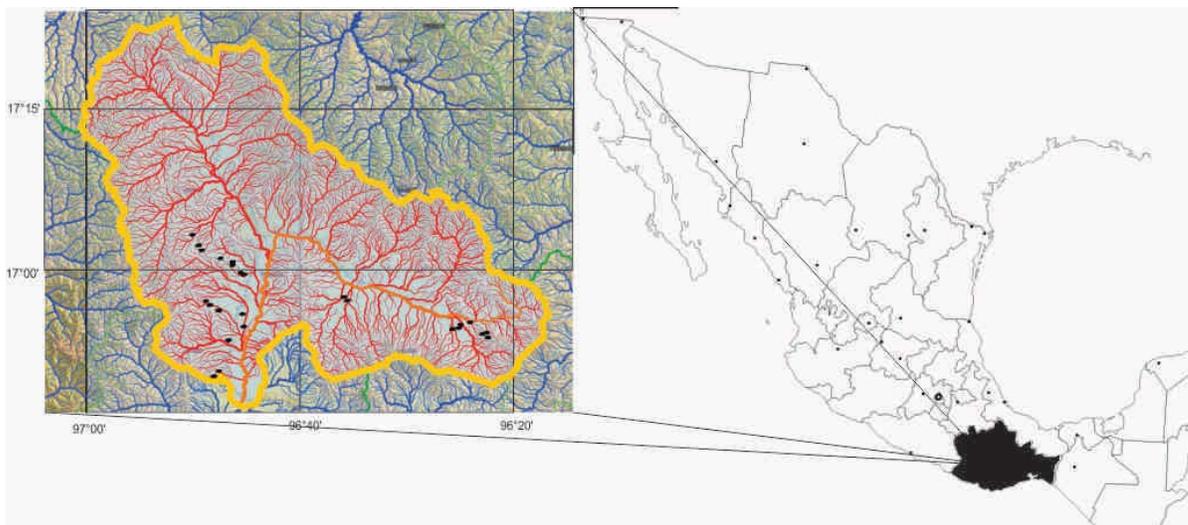


Figura 1. Localización de la zona de estudio

Geología

La zona de estudio pertenece a la Sierra Madre del Sur que se extiende desde el sur de Jalisco al Istmo de Tehuantepec, en donde existen varios valles intermontanos. El acuífero de los valles centrales descansa sobre un complejo basal. Este complejo se conforma de rocas metamórficas Grenvillianas del complejo Oaxaca o terreno Zapoteco y rocas sedimentarias mesozoicas y milonitas del terreno Juárez (Ortega 2009).

La estratigrafía consiste de una sucesión compleja de rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas y lacustres con edades que inician del precámbrico hasta el reciente. En la parte superior existe material aluvión del cuaternario, las rocas ígneas están compuestas de riolitas y andesitas volcánicas que descansan sobre sedimentos de edades Mesozoicas y Terciarias (Perraton 1998).

Hidrogeología de la zona

Los acuíferos de Etna y Zimatlán corren de noroeste hacia sureste y el acuífero de Tlacolula de Este a Oeste. El acuífero es libre, las zonas de recarga se encuentran en la sierra norte donde se presenta una recarga difusa. Como es la principal fuente de abastecimiento hídrico existe una sobreexplotación intensiva, se reportan abatimientos anuales de 1,5 m/año (Belmonte 2005).

El tipo de acuífero es libre con una tendencia similar a los ríos Atoyac y Salado, donde predomina un flujo subterráneo en dirección noreste a suroeste desde Tlacolula a su confluencia con el acuífero Etna-Zimatlán que corre de Noroeste a Sureste.

Está constituido por material aluvial, principalmente cantos rodados, gravas, arenas arcillas y limos (Belmonte 2005). En la zona se aplicaron métodos geofísicos de resistividad y electromagnéticos para definir un espesor del acuífero granular que varía de 10 a 150 m disminuyendo hacia los piedemontes. La transmisibilidad obtenida con pruebas de bombeo fue de 10 a 233 m²/día, y se asocia con la presencia de materiales arcillosos (Belmonte 2005).

Con la finalidad de conocer la presencia de arsénico y otros elementos, se realizó el muestreo en 26 pozos noria y profundos que abastecen de agua para uso y consumo humano (figura 2).

Durante el muestreo se midieron las propiedades fisicoquímicas: temperatura, conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos totales y salinidad de las fuentes de abastecimiento. Para el análisis en laboratorio se tomaron muestras por duplicado las cuales fueron aciduladas a pH igual o menor a dos. La preservación de las muestras fue a 4 °C, para su análisis químico inorgánico posterior en los laboratorios de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Las muestras en laboratorio fueron analizadas por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Se determinó y cuantificó un total de 19 elementos: As, Se, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Be, Mo, Co, Ca, Sb, Mg, Ti, Tl y Zn.

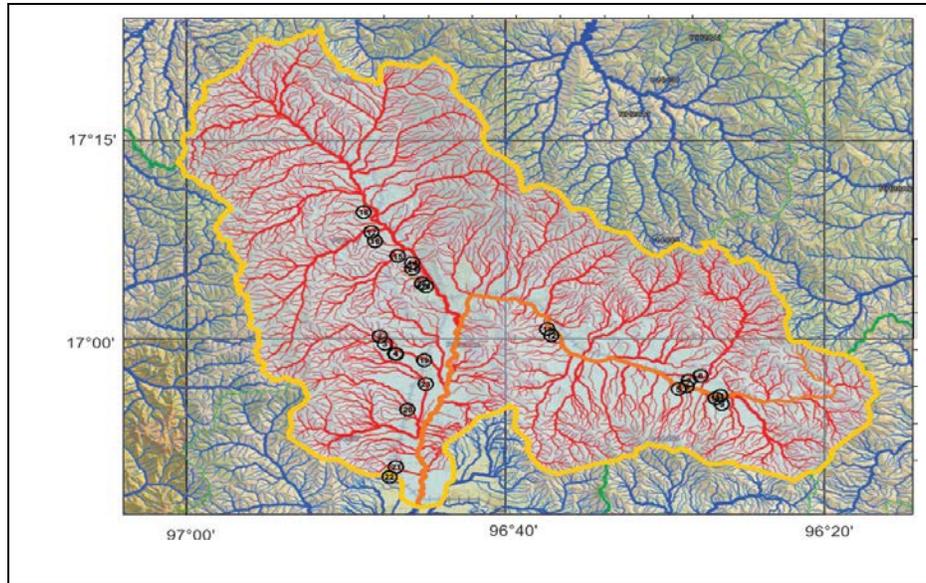


Figura 2. Ubicación de pozos muestreados

En el primer muestreo el arsénico estuvo por debajo del límite de detección, por lo que se realizó un segundo análisis por espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente con introducción de muestra por nebulizador ultrasónico (IPC-OES), el cual generó la detección del arsénico.

Se buscó la correlación estadística entre los diferentes elementos así como con los parámetros fisicoquímicos para establecer algún origen específico.

RESULTADOS

Se indican en la tabla 1 los valores detectados del arsénico en pozos muestreados, el valor máximos detectados fue de 0,17 mg/L para el pozo 10. Cabe señalar que hacia la parte norte de ETLA y en el acuífero de Zimatlán no se detectó arsénico.

Tabla 1. Valores del Arsénico en mg/L

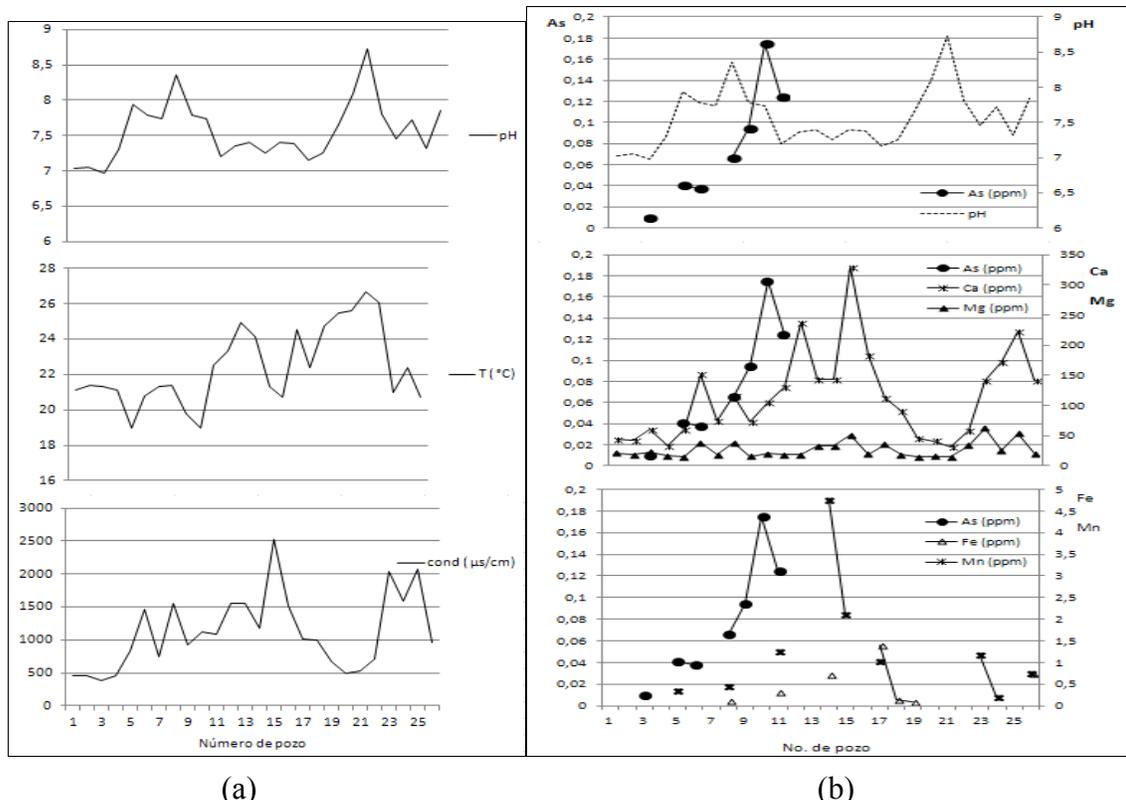
Pozo	x	y	Z (m)	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS)	SDT (ppm)	As (mg/L)
3	735077	1880802	1600	6,97	21,3	382	190	0,01
5	768419	1874690	1620	7,94	19	827	417	0,04
6	769312	1875031	1625	7,79	20,8	1457	837	0,04
8	770891	1876456	1642	8,36	21,4	1548	775	0,07
9	773309	1872618	1653	7,79	19,8	921	463	0,09
10	772602	1873418	1639	7,74	19	1114	558	0,17
11	773130	1873794	1643	7,2	22,5	1089	546	0,12

La figura 3 (a) y (b) muestra los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos. La temperatura promedio del agua en los pozos es de 22 °C, por lo que se descartan afectaciones geotérmicas. Los valores del pH varían de 6,9 a 8,73 correspondientes a aguas neutras a ligeramente básicas. Los sólidos disueltos totales en promedio se encuentran en 554 ppm. La figura 4 muestra la relación de la dureza asociada al arsénico. La tabla 2 muestra la correlación del arsénico con otros elementos y parámetros fisicoquímicos

Tabla 2. Correlación del arsénico con otros elementos y parámetros fisicoquímicos

	pH	Temperatura	Conductividad eléctrica	SDT	Ca	Mg
As	0,074356	-0,19	0,2778	0,1933	0,2756	0,317

Con los resultados de las líneas de flujo subterráneo y de los resultados del laboratorio, se infiere que las sierras que circundan a la población de Tlacolula y cercana a Yagul son aportadoras de la erosión de riolita que se deslizan hacia el valle. La figura 5 muestra la distribución geográfica del arsénico.



**Figura 3. (a) Comportamiento del pH, temperatura y conductividad eléctrica en los pozos muestreados
(b) Relación entre el arsénico total, cationes mayores y metales pesados**

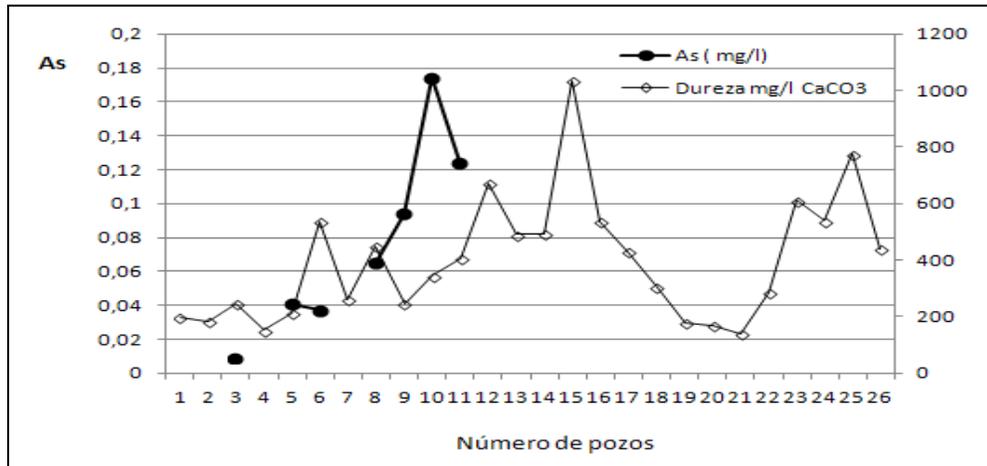


Figura 4. Variación de la dureza con la muestra asociada al arsénico

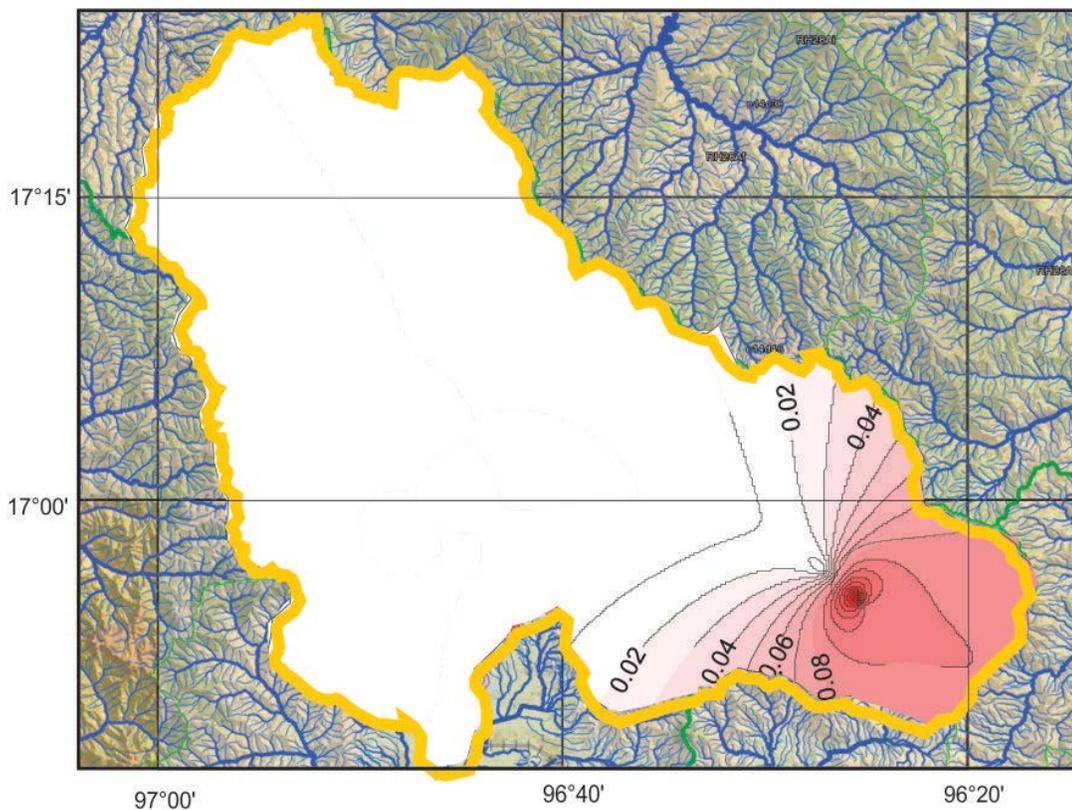


Figura 5. Distribución del arsénico, en mg/L en los Valles Centrales de Oaxaca

CONCLUSIONES

Se verificó la existencia del arsénico en los valles centrales de Oaxaca, los acuíferos de Etna y Zimatlán no manifiestan valores significativos para la Norma Oficial Mexicana. Los valores detectados mayores de 0,05 mg/L que superan las normas ambientales se distribuyen geográficamente en las inmediaciones de Tlacolula y Yagul. Los resultados no muestran correlación superior al 50% con ningún parámetro fisicoquímico o elemento. No se identificó relación alguna con actividades antrópicas por la inexistencia de fuentes contaminantes asociadas con el arsénico, tampoco existe evidencia de alguna fuente proveniente del uso de fertilizantes. Por la geología de la zona es más viable asociarlo a formaciones circundantes de riolitas. Este trabajo identifica un riesgo sanitario aún no abordado por los encargados del manejo del recurso hídrico en la zona.

RECONOCIMIENTO

Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento de este trabajo, y a la Universidad Nacional Autónoma de México por su apoyo.

REFERENCIAS

- Belmonte J. S.** (2005). “Caracterización geofísica del sistema hidrogeológico del Valle de Zaachila, Oaxaca, y su relación con la geología tectónica regional”. Tesis de doctorado. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Caballero G. P., Carrillo R. J., Gómez U. R. y Jerez S. M.** (2010). “Presencia del arsénico en pozos y cultivos de Oaxaca”. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 21, no. 1, pp. 177-184. Costa Rica. Extraído de: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v21n1/a18v21n1.pdf>, en enero 2013.
- Esteller M.V., Rodríguez R., Cardona A. and Padilla L.** (2012). “Evaluation of hydrochemical changes due to intensive aquifer exploitation: case studies from Mexico”. *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 184, no. 9, pp. 5725-5741, Netherlands. Extraído de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10661-011-2376-0#page-1>, en enero 2013.
- IMTA** (2009). “ERIC III 2.0, Extractor rápido de información climatológica”. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. CD-ROM, México.
- Kinniburgh D. G., Smedley P. L., Davies J., Milne C. J., Gaus I., Trafford J. M., Burden S., Hug S. M. I., Ahmad N. and Ahmed K. M.** (2003). “The scale and causes of the groundwater arsenic problem in Bangladesh”. En: *Arsenic in groundwater* (A. H. Welch y K. G. Stollenwerk, Eds.). Kluwer Academic Publishers. United States of America, pp. 211-257.
- Leal, M. y Gelover, S.** (2003). “Evaluación de la calidad del agua subterránea de fuentes de abastecimiento en acuíferos prioritarios de la región Cuencas Centrales del Norte”, extraído de: <http://www.imta.mx/instituto/historial-proyectoswrp/tc/2002/CA4-Evaluación.pdf> en abril 2013.

- Ortega, G. M.** (2009). “Presencia, distribución hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México”. Extraído de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742009000100012&lng=es&tlng=es . en julio 2013.
- Perraton, E.** (1998). “Hydrogeologic and agroclimatic considerations for the development of a water management model for the Tlacolula Subbasin, Oaxaca, Mexico”. Tesis de Doctorado, McGill University, Quebec, Canada.
- Plant J. A., Kinniburgh D.G., Smedley P.L., Fordyce F.M. and B. A. Klinck** (2003). “Arsenic and Selenium”. En: “Treatise on Geochemistry” (H.D. Holland y K.K. Turekian, Eds.). Elsevier Amsterdam, Keyworth, Nottingham, U.K.
- Singh A. K.** (2006). “Chemistry of arsenic in groundwater of Ganges-Brahmaputra river basin”. Current Science India, vol. 91, no. 5, pp. 599-606, India. Extraído de: <http://www.iisc.ernet.in/currsci/sep102006/599.pdf> en junio 2012.
- Smedley P.L. and Kinniburgh D.G** (2002). “A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters”. Applied Geochemistry, vol. 17, no. 5. pp. 517-568, Elsevier, U.K. Extraído de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292702000185> en septiembre 2013.
- Secretaría de Salud** (1994). “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”. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Salud. México. Extraído de: <http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/NormasPorTema/Agua.aspx>, en agosto 2013.