

NOTA TÉCNICA

PRESENCIA DE ARSÉNICO EN POZOS Y EN CULTIVOS EN OAXACA, MÉXICO¹

*Pablo Ubaldo Caballero-Gutiérrez², José Cruz Carrillo-Rodríguez³, Rosa María Gomez-Ugalde³,
Martha Patricia Jerez-Salas³*

RESUMEN

Presencia de arsénico en pozos y en cultivos en Oaxaca, México. El objetivo de este trabajo fue determinar la presencia de arsénico en agua de pozos y en cultivos. Se muestrearon pozos noria y semiprofundos, y diferentes cultivos (tomate, lechuga, frijol y maíz), pertenecientes al paraje “Flor de Guayabal”, en Tlacolula, Oaxaca, México, durante un periodo de 10 meses (julio 2006 a abril 2007). Hubo dos fases: la primera fue el diagnóstico que se obtuvo de la determinación mensual del arsénico en los pozos, y en la segunda, el establecimiento de cultivos y el muestreo de plantas para los análisis químicos. En los resultados del análisis de agua (julio-abril), hubo arsénico ($\mu=0,1$ mg/l) en niveles que superan lo establecido en la norma oficial mexicana (0,025 mg/l). En la segunda fase, en los órganos comestibles de jitomate, lechuga, zanahoria, maíz y frijol cultivados en el paraje, no se encontró evidencias sobre la presencia de este metal.

Palabras clave: Metal, tóxico, líquido, hortalizas, granos.

ABSTRACT

Presence of arsenic in wells and crops in Tlacolula Oaxaca, Mexico. The objective of this work was to determine the presence of Arsenic in well water and crops. Shallow and semi-deep wells were sampled, as well as different crops (tomato, lettuce, beans and corn) belonging to “Flor de Guayabal” landscape in Tlacolula, Oaxaca, Mexico, during a ten month period (July 2006 to April 2007) to determine the presence of Arsenic. There were two phases: the first one was the diagnosis obtained from the monthly determination of Arsenic in wells, and the second phase was the establishment of the crops and plant sampling for chemical analysis. The analyses of waters (July-April) revealed the presence of Arsenic at levels that surpassed those established by Mexican official norms (0,025 mg/l). In the second phase, no evidence of the presence of Arsenic was found in the edible organs of the tomato, lettuce, carrots, corn and beans.

Key words: Metal, toxic, liquid, vegetables, grains.



INTRODUCCIÓN

Es prioritario asegurar el acceso oportuno de alimentos para todos los habitantes del planeta y las

futuras generaciones, garantizando que mantengan una calidad adecuada, no solo por su aporte nutricional y caducidad, si no además por estar exentos de cualquier contaminante que pudiera ocasionar daño alguno a

¹ Recibido: 6 de marzo, 2009. Aceptado: 19 de mayo, 2010. Parte de tesis de posgrado del programa de maestría en Productividad de Agroecosistemas.

² Tesista del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). pucg@latinmail.com

³ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Nazareno, Xoxocotlán, Oax. jcarrillo_rodriguez@hotmail.com; gcriolla@hotmail.com

quienes los consumen (FAO 2005). Existen diversos reportes de contaminación de alimentos de origen vegetal como consecuencia de malos manejos culturales y poscosecha (FAO 2005), pero también de contaminantes acumulados en los tejidos vegetales provenientes de los insumos empleados en su producción incluyendo el suelo y agua. Tal es el caso de la presencia de arsénico en los ecosistemas, en donde la ocurrencia de cambios químicos y físicos facilita su disponibilidad para ser absorbidos por diferentes organismos, ingresando así a la cadena trófica y magnificándose en los eslabones superiores de manera exponencial, ocasionando graves daños a la salud principalmente de los seres humanos (Prieto-García *et al.* 2005, WHO 2001).

La exposición crónica que resulta de beber agua con altos niveles de arsénico durante un largo periodo de tiempo (cinco a 20 años), es conocida como arsenicosis. Las consecuencias en la salud incluyen cambios en la pigmentación de la piel, enfermedades vasculares como problemas de los vasos sanguíneos en los pies y las piernas, gangrena de las piernas (Blackfoot Disease), cáncer de la piel, del hígado, riñón y pulmones. Otros síntomas posibles son diabetes, alta presión sanguínea y problemas reproductivos (Lenntech 2007, Abernathy 2001, WHO 2000, WHO 2001, Zaldivar 1974).

Por otra parte, Núñez (1999) y Prieto-García *et al.* (2005), comprobaron la existencia de agua contaminada con arsénico en Zimapán, en el estado de Hidalgo, México. Posterior a la comprobación de la contaminación, Prieto-García *et al.* (2007), realizaron estudios sobre la acumulación de arsénico en el cultivo de haba (*Vicia faba*), las concentraciones de arsénico acumuladas más altas se obtuvieron en la raíz, el tallo y las hojas, respectivamente; las concentraciones de 4 mg/l, fueron letales para el cultivo, el fenómeno se apreció a partir de la III etapa de desarrollo, con la aparición de daños en las raíces y un fuerte efecto en la floración, que inhibió la formación de vainas.

Por otra parte, Prieto-García *et al.* (2005), estudió el efecto de bioacumulación en diferentes cultivos agrícolas irrigados con las aguas contaminadas de esta región, encontrando en el caso del epazote (12,39 mg/kg As) y perejil (10,7 mg/kg As), con una gran capacidad de acumular arsénico en sus hojas; en hortalizas el chayote (7,90 mg/kg As), y el chile (6,26 mg/kg As), seguidos de tomate verde y rojo (3,95 mg/kg As), en frutales el chilacayote, naranjo, níspero y plátano, y en cultivos de plantas medicinales el toronjil, el té

limón y manzanilla tienden a acumular este elemento, comprobando así, el riesgo para la población que los consume y la necesidad de analizar los contenidos de arsénico en el agua empleada para el riego de cultivos agrícolas, como medida preventiva, en el marco de la inocuidad alimentaria.

Un estudio de la dinámica adsorción-desorción de arsénico (V) en condiciones naturales aireadas (arseniato) en tres suelos de cultivo de Castilla y León, España, mostró que la disponibilidad de arsénico en un suelo arcilloso es muy reducida (la cantidad adsorbida no disminuye apreciablemente al disminuir la de la fase disuelta), mientras existe una retención mucho menor del arsénico por los suelos franco arenosos, por lo que en éstos, el arsénico se encuentra más disponible para ser absorbido por las plantas (Benedí y Marinero 2003).

Diferentes investigaciones, reportan isotermas de adsorción de As+5 en un suelo franco-arcillo-arenoso en presencia de los iones FeCl_3 , FeSO_4 , KNO_3 y K_3PO_4 , pudiendo apreciar como el FeCl_3 favorece la adsorción de As, efecto que es considerablemente mayor en presencia de KNO_3 (Benedí y Marinero 2003). Por el contrario la existencia de PO_4 en el suelo, hace que disminuya la adsorción de arsénico, debido probablemente a que el fósforo y este metal compiten por los mismos centros de adsorción del suelo, por lo tanto, la utilización de fertilizantes fosfatados en las prácticas agrícolas puede tener una relación directa con la concentración de arsénico en la solución del suelo ya que puede aumentar su disponibilidad (Benedí y Marinero 2003, Calvo-Revuelta *et al.* 2003).

En el paraje conocido como "Flor de Guayabal", Tlacolula, Oaxaca, se detectó contaminación por arsénico en el agua de pozos empleados para la agricultura así como para el uso y consumo humano, en concentraciones que exceden los niveles máximos permisibles para agua potable determinados por la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1997, la Organización Mundial de la Salud (WHO/OMS 2003) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA 2006). Existe el riesgo de exposición crónica debida al hábito de los pobladores de consumir el agua extraída de los pozos sin proporcionar algún tipo de tratamiento lo cual puede tener efectos adversos en su salud.

Entre los cultivos que se producen con mayor frecuencia en este paraje y que son regados con agua

de los pozos contaminados se encuentran el jitomate, lechuga, zanahoria, maíz, frijol, entre otros; los productos cosechados son empleados para autoconsumo, venta o intercambio en los mercados de Tlacolula, Mitla y la ciudad de Oaxaca, por lo que la probabilidad de personas en riesgo de una exposición crónica va más allá de los pobladores del lugar.

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la contaminación por arsénico en el agua de pozos tipo noria y semiprofundos y la acumulación en los cultivos de jitomate, lechuga, zanahoria, frijol y maíz, en Tlacolula, Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el paraje denominado “Flor de Guayabal” ubicado en el kilómetro 37,3 de la carretera Oaxaca-Istmo de Tehuantepec, al noreste de la comunidad de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, México; localizado a 16° 57' 13" latitud norte y 96° 28' 33" de longitud oeste a una altura de 1.600 msnm (SEGOB 2002). El clima predominante es seco semicálido con una temperatura promedio de 20,6 °C; la precipitación pluvial promedio es de 645,3 mm (INEGI 2007). La actividad pecuaria está constituida por animales de traspato, entre los que se encuentran gallinas, guajolotes, vacas y borregos. Los productores manifestaron que se tienen los animales como parte complementaria de la economía y alimentación y son como un ahorro y que además producen beneficios alimenticios como la leche y sus derivados, carne y huevos.

La investigación se dividió en dos fases: en la primera fase se efectuó un recorrido por el paraje visitando casa por casa, entrevistando a los pobladores e identificando los domicilios que cuentan con pozo, y se realizó un diagnóstico de la contaminación por arsénico, detectándose la presencia de arsénico en cinco de los 17 pozos encontrados en el paraje, de estos cinco, se obtuvo información sobre el uso que le dan los habitantes al agua obtenida en el paraje “Flor de Guayabal” Tlacolula, Oaxaca, y con base en un muestreo mensual de cada uno de los cinco pozos se obtuvo la concentración del metal en un periodo de 10 meses, comprendidos entre julio de 2006 hasta abril de 2007. En una segunda fase se realizó una evaluación de la acumulación de arsénico en frutos de jitomate

(*Lycopersicum esculentum* Mill.), zanahoria (*Daucus carota* L.), hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y granos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.), a través de un análisis químico, efectuado para conocer las implicaciones del uso de agua contaminada por arsénico de dichos pozos.

Para determinar el contenido de arsénico en los cultivos, algunos de ellos se establecieron en invernadero y campo. En el caso del cultivo de tomate fue necesario establecerlo en un invernadero con sustrato de arena, en donde se utilizó el agua del pozo noria de dicho paraje (previamente detectado con arsénico); en bolsas de arena se trasplantaron dos plantas de jitomate y se podaron a un tallo apoyándose con rafia el tutoreo vertical bajo un manejo hidropónico y fertilización en el sistema de riego. El control de plagas y enfermedades preventivo cada cinco días hasta el quinto racimo, posteriormente se obtuvieron al azar las muestras de frutos de jitomate. En otro invernadero se establecieron el cultivo de lechuga y zanahoria en surcos en el suelo, cuatro para cada cultivo a doble hilera. Cada uno se fertilizó con desechos de rastrojo y estiércol bovino, también se utilizó agua del pozo noria. Al inicio de la cosecha se obtuvieron hojas de lechugas de diferentes plantas y de igual forma para la zanahoria se seleccionaron al azar las raíces para llevarlas al laboratorio.

Para el cultivo de frijol y maíz, el muestreo se efectuó en la siembra tradicional en campo, donde el productor siembra asociado los dos cultivos: tres semillas de maíz por dos de frijol, cada medio metro del surco, con fertilización orgánica incorporada cada año. Se seleccionaron parcelas en campo de los productores del mismo paraje que regaban los cultivos con aguas del mismo pozo noria, donde se obtuvieron las muestras al azar de granos de frijol y maíz, y de diferentes plantas para llevarlas al laboratorio.

Este estudio se realizó sin manipulación de variables, ya que se pretendió comprobar la contaminación en el agua de los pozos (no provocarla) y si existe un efecto de acumulación en los cultivos que realizan los agricultores bajo sus propias técnicas, a fin de comprobar su inocuidad. Estas características de analizar los sucesos y sus efectos tal y como se dan en su contexto natural son calificados como un diseño no experimental (Hernández *et al.* 2003). Con la finalidad de obtener información relevante al tema, se aplicó una entrevista semiestructurada con una guía de preguntas estructurales que permitieron acceder a la información.

La selección de los pozos se basó en los siguientes criterios: a) se emplean para el consumo humano, b) se emplean en el cultivo hidropónico de jitomate, c) se emplean en el cultivo de otras hortalizas y en frijol y maíz y d) se encuentran a distancias entre 500 y 800 m. De los 17 pozos, solo cinco cumplieron estos requisitos, los cuales, contenían dicho metal, con base en un análisis previo. Las determinaciones de la concentración de arsénico en el agua fue mensual en cada uno de los cinco pozos, muestra de agua que se obtenía en un frasco ámbar después de 10 minutos de sacar agua continua del pozo. Posteriormente, se determinaban las concentraciones del arsénico mediante espectrofotometría de emisión atómica por inducción de plasma (ICP-AES por sus siglas en inglés), con un límite de detección de 0,006 mg/l de arsénico. Para la determinación de metales en agua potable y agua purificada, las muestras incoloras, transparentes e inodoras y de una sola fase, pueden analizarse directamente por espectrometría de absorción atómica, sin digestión. Previo a dicho análisis, se adicionan a 100 ml de muestra, 1 ml de ácido nítrico, si se observa una precipitación, se realiza una digestión con 1 ml más de ácido nítrico concentrado, se calienta a 85 °C hasta reducir el volumen a 20 ml sin que hierva. Se calienta a reflujo 30 minutos y se transfiere a un matraz volumétrico de 50 ml. Se centrifuga a 1600 rpm por 30 minutos o se deja reposar toda la noche y analiza el sobrenadante.

La selección de los cultivos se determinó bajo el criterio de que fuesen sembrados con mayor frecuencia en el paraje "Flor de Guayabal", regados con agua de los pozos contaminados, consumidos por los propios productores y/o comercializado en distintos mercados. El procedimiento de muestreo para cada cultivo se llevó a cabo mediante una muestra compuesta, se seleccionan varias plantas, se cosechan los frutos de jitomate, hojas de lechuga y granos de frijol y maíz de diferentes plantas (muestreo al azar) para realizar el análisis con base en tres repeticiones.

En jitomate y lechuga las muestras fueron de 350 g, éstas se lavaron con agua destilada y se secaron a 60 °C por 72 horas. Posteriormente las muestras fueron trituradas para someterlas al proceso de digestión. Para el caso de frijol y maíz, se utilizaron 200 g y fue por digestión por vía húmeda-seca, para la determinación por el método de absorción por flama, que consiste en obtener una muestra de 40 g de jugo o bebida, 20 g de alimentos que contengan del 50 al 75%

de agua y 10 g de alimentos sólidos y semisólidos, el procedimiento se realizó con tres réplicas.

En tejido vegetal, los análisis de contenido de arsénico fueron realizados mediante una determinación por espectrofotometría de absorción atómica, regulada por la norma NOM-117-SSA1-1994. Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros, es un método similar al del vapor frío. Las muestras reaccionan en un dispositivo externo con un agente reductor, generalmente borohidruro. Los productos gaseosos de reacción se llevan a una celda de muestreo que se encuentra en el paso óptico del espectrómetro de absorción atómica, en este caso, los productos de reacción son hidruros volátiles. Estos compuestos moleculares no son capaces de dar una señal de absorción atómica, por lo tanto la celda se calienta para disociar el hidruro gaseoso en átomos libres. Cuando el hidruro gaseoso se disocia en la celda calentada en átomos libres, la absorción atómica crece y cae a medida que se crean los átomos y escapan de la celda de absorción. Se mide el máximo de absorción o altura de pico. Los elementos que se pueden determinar con esta técnica son: As, Bi, Ge, Pb, Sb, Se, Te y Sn. El límite de detección por este método de prueba fue de 0,07 µg/l.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en las entrevistas realizadas, el paraje "Flor de Guayabal" tenía una población de 106 personas, de las cuales 46 son adultos (mayores de 21 años) y 60 menores de edad en el rango de 2-20 años. La principal ocupación de los pobladores es la agricultura, seguido de comercio y servicios como: tienda de abarrotes, expendio de cervezas, restaurante, venta de agua para uso humano y chofer de taxis.

Los principales cultivos que se siembran en el lugar, según lo manifestado por los agricultores del lugar son: jitomate (*Lycopersicon sp.*), calabacita (*Cucurbita ludelliana*), frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris*), cebolla (*Allium cepa*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*), alfalfa (*Medicago sativa*), maguey espadín (*Angustifolia Haw*) y en menor grado acelga (*Beta vulgaris*), fresa (*Fragaria sp.*), lechuga (*Lactuca sativa*), zanahoria (*Daucus carota*) y cilantro (*Coriandrum sativum*).

En el lugar se encontraron 17 pozos, el uso que se da al agua extraída es para consumo humano, agrícola

y pecuario (Figura 1), existen otros dos pozos que se consideraron como abandonados ya que no se les da uso ni mantenimiento y de los que no fue posible contactar a los propietarios.

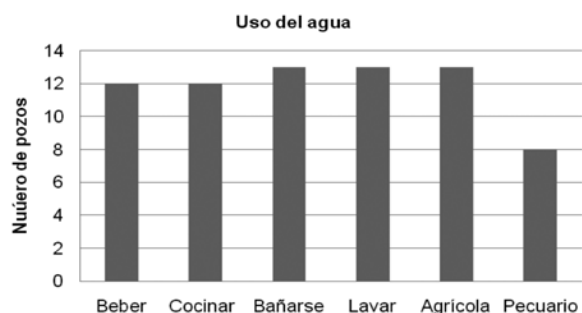


Figura 1. Actividades en las que se emplea el agua de los pozos. Guayabal, Tlacolula, Oaxaca, México. 2007.

Las profundidades del espejo de agua variaron desde una mínima de ocho metros y una máxima de veinticuatro metros siendo el pozo de mayor profundidad en el que se detectó la presencia inicial del arsénico. El 88% de los pozos se encuentran entre los diez y quince metros de profundidad. La extracción del agua se realiza, en la mayoría de los casos, mediante equipos de bombeo eléctrico y solo en tres mediante el sistema de polea y cubeta.

Los materiales con que están elaborados los pozos son dos: anillos de cemento y de ladrillo. La elección entre usar un tipo determinado está basada principalmente en el costo de elaboración. Solo el caso del pozo empleado para horticultura protegida fue perforado con maquinaria, y se insertó un tubo de pvc de seis pulgadas. El mantenimiento que se da a los pozos es el desasolve y se realiza eventualmente cada dos o tres años y en tiempo de sequía; en ninguno de los casos se ha realizado algún tipo de análisis para determinar la calidad del agua.

El 60,4% de los habitantes manifestó consumir y emplear el agua que extraen de los pozos sin realizar tratamiento alguno, mientras que el 39,6% que son los habitantes de la comunidad declararon contar con sistema de tratamiento de agua por filtrado y tratamiento por ósmosis inversa, pero que en ocasiones han descubierto a los jóvenes tomar agua directamente del pozo cuando se riegan las plantas del lugar.

Los resultados obtenidos del análisis temporal de la concentración de As (Figura 2) detectada en el agua de cinco pozos a lo largo de diez meses, excedió en todos los casos el valor de 0,025 mg/l establecido como límite por la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 y el valor límite de 0,01 mg/l, indicado por la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos. Esto indica que existe el riesgo de afecciones a la salud humana y de contaminación al ambiente en la región por la contaminación de los cinco pozos contaminados.

El rango de valores registrados de la concentración de arsénico en los cinco pozos del paraje el

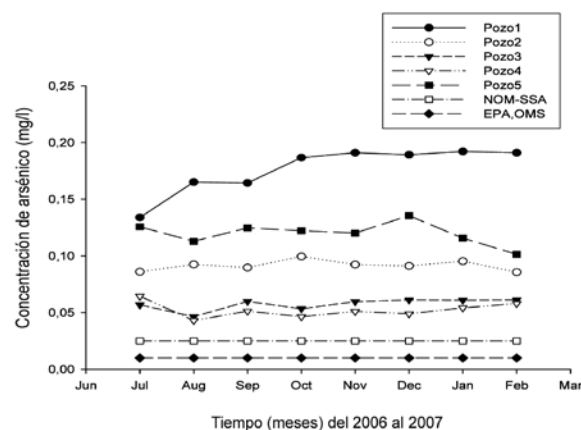


Figura 2. Concentración mensual de arsénico en el agua de pozos en la región de Tlacolula, Oaxaca, México. 2007.

guayabal (0,043-0,192 mg/l) superaron el valor guía de 0,01 mg/l, propuesto por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA 1994) quien indica que al existir niveles superiores se pueden presentar efectos tóxicos, además estos valores están comprendidos entre las concentraciones promedio reportadas por Prieto-García *et al.* (2005) en Zimapan, Hidalgo en el rango de 0,04-0,48 mg/l y en los que hubo acumulación en el tejido de diversos cultivos agrícolas.

Se efectuó un análisis de varianza ($\alpha=0,05$) a las concentraciones de arsénico en el agua. El análisis no reveló diferencia estadística en el comportamiento de la concentración de arsénico durante los diez meses de muestreo. Para determinar la variación entre las concentraciones de arsénico en los diferentes pozos

se efectuó un análisis de correlación entre la profundidad (m) y la concentración de arsénico (mg/l), a un nivel de confianza de 0,01 y con una $R^2 = 71,11$, lo que indica que existió una relación positiva entre los valores: ésto significa que a mayor profundidad mayor concentración de arsénico (Figura 3). Los casos más sobresalientes son nuevamente el pozo uno, con el mayor nivel de arsénico y que tiene también la mayor profundidad (veinticuatro metros), y el pozo cuatro con la menor profundidad (nueve metros) y el menor nivel de arsénico. El modelo de regresión obtenido fue concentración de arsénico = $-0,00218658 + 0,00745177 * \text{profundidad}$.

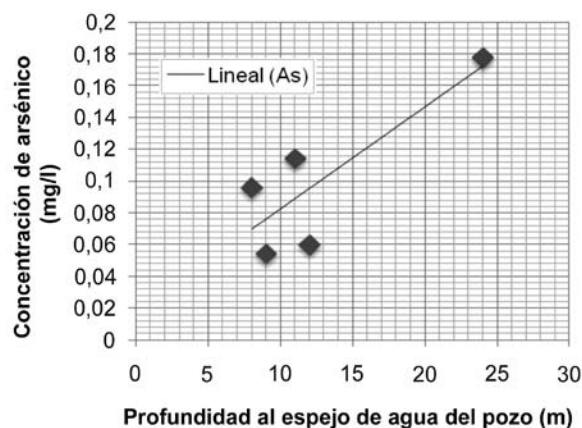


Figura 3. Modelo de regresión lineal simple de la concentración (mg/l) de arsénico y profundidad (m) de los pozos en la región de Tlacolula, Oaxaca, México. 2007.

El agua que se usó para regar las hortalizas correspondió al pozo número uno para los cultivos de jitomate hidropónico, zanahoria y lechuga; el pozo número cinco fue empleado para regar los cultivos de frijol y maíz. El agua con la mayor concentración de arsénico fue la que se usó en el cultivo de jitomate hidropónico, con un valor promedio de 0,1776 mg/l, la menor concentración se observó en el agua utilizada para el cultivo de lechuga con un valor promedio de 0,0599 mg/l.

El resultado de los análisis realizados a las muestras de los diferentes cultivos (Cuadro 1), no se detectó ningún valor, lo cual descarta la presencia de arsénico en niveles que pudieran ser dañinos en

Cuadro 1. Análisis de arsénico en el tejido vegetal. Tlacolula, Oaxaca, México. 2007.

| Cultivo | Parámetro analizado | Unidades | Concentración | Incertidumbre |
|--------------------|---------------------|----------|------------------------|----------------------------|
| Jitomate (Cid) | Arsénico | mg/l | < 0,07 $\mu\text{g/l}$ | $\pm 0,0022 \mu\text{g/l}$ |
| Jitomate (Zimabue) | Arsénico | mg/l | < 0,07 $\mu\text{g/l}$ | $\pm 0,0022 \mu\text{g/l}$ |
| Zanahoria | Arsénico | mg/l | < 0,07 $\mu\text{g/l}$ | $\pm 0,0022 \mu\text{g/l}$ |
| Lechuga | Arsénico | mg/l | < 0,07 $\mu\text{g/l}$ | $\pm 0,0022 \mu\text{g/l}$ |
| Maíz | Arsénico | mg/l | < 0,07 $\mu\text{g/l}$ | $\pm 0,0022 \mu\text{g/l}$ |
| Frijol | Arsénico | mg/l | < 0,07 $\mu\text{g/l}$ | $\pm 0,0022 \mu\text{g/l}$ |

los frutos de jitomate, hojas de lechuga, raíces de zanahoria y granos de frijol y maíz.

El método utilizado para determinar el arsénico en los cultivos fue el adecuado porque se explica mejor para el caso específico del cultivo hidropónico de jitomate, donde se suponía una mayor probabilidad de absorción de arsénico dado que en el cultivo hidropónico se emplea arena como sustrato (inerte) y los suelos arenosos son los que presentan una mayor disponibilidad de arsénico para las plantas (Benedí y Marinero 2003), por otra parte Prieto-García *et al.* (2005) reportó una acumulación de 1,55 mg/kg en frutos de jitomate.

El resultado obtenido podría explicarse por la dinámica de adsorción-desorción del arsénico en el suelo ante la presencia del ión nitrato, principal fuente de nitrógeno aplicada a la solución nutritiva a una concentración de 10 meq/l, ya que este ión aumenta la adsorción del arsénico disminuyendo su disponibilidad para las plantas (Benedí y Marinero 2003). Esto aunado a la teoría de Violante y Pigna (2002) que demostraron que aún con la presencia de fosfato la adsorción de arsénico incrementaba cuando disminuía el pH en el suelo, condiciones que también se pudieran presentar en la solución nutritiva (fertilización requerida por las plantas en el agua de riego con sustrato de arena), ya que tiene un contenido de 1,5 meq/l de fosfatos con una disminución del pH a valores de 5,5 – 6,0, que es el pH requerido para la asimilación de los nutrientes en la producción hidropónica de tomate. Además, en un estudio con arsénico (As), reportan el análisis de 150 pozos en la parte sur-oriental de Ghana (Accra regiones, Oriental y Volta) reveló consumo de

cantidades pequeñas medianas en el rango de 2-39 mg l-1, con sólo el 2% de los pozos probados con arsénico concentración superior a 10 mg l-1 de la OMS (2003) el nivel máximo permitido de arsénico en el agua potable (Kortatsi *et al.* 2008).

También es importante considerar a las propiedades físico-químicas del agua donde el pH del agua marca una diferencia significativa en la eficiencia para descontaminar el arsénico empleando diferentes tecnologías (por ejemplo, “Activated Alumina”, aluminio activado: C-AA). La competencia de iones está correlacionada con el pH del agua, estos procesos son altamente sensibles a los cambios en el pH, y se ha demostrado que el pH óptimo para remover arsénico es del rango de 5,5 a 6,0, esto significa que a medida que el pH se aleja del óptimo la capacidad se reduce (Sepúlveda 2009).

No se detectó acumulación de arsénico en las hortalizas, lo que sugiere que no existe exposición crónica al arsénico a través del consumo de frijol, maíz, tomate, zanahoria y lechugas producidas en el paraje Flor de Guayabal, Tlacolula, Oaxaca.

La concentración de arsénico en el agua de los pozos del paraje superan a los límites establecidos como permisibles por la Norma Oficial Mexicana, la OMS y EPA. Por ello el 54% de la población que habita en el paraje Flor de Guayabal, Tlacolula, Oaxaca, tiene el mayor riesgo de exposición crónica al arsénico, debido a su hábito de consumo de agua de los pozos, sin efectuar tratamiento.

LITERATURA CITADA

- Abernathy, C. 2001. Chapter 3: Exposure and health effects. *In*: Environmental Health Criteria for Arsenic and Arsenic Compounds (EHC 224). Guidelines for drinking-water quality, OMS. Geneva, 2001. IPCS - International Programme on Chemical Safety. 3 ed. p. 417.
- Benedí, J; Marinero, P. 2003. Dinámica de adsorción – desorción de arsénico (v) en suelos de cultivo en Castilla y León, España. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo VI:331-338.
- Calvo-Revuelta, C; Álvarez-Benedí, J; Andrade, M; Marinero, P. 2003. Contaminación por arsénico en aguas subterráneas de la provincia de Valladolid, España: variaciones estacionales. Estudios de la zona no saturada del suelo. España. 6:91-98.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2006. Drinking water standards (en línea). Consultado 2 marzo 2006. Disponible en <http://www.epa.gov>
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Asegurar la cadena alimentaria. Departamento de agricultura y protección al consumidor. FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) corporated document repository (en línea). Consultado 30 jun. 2007. Disponible en <http://www.fao.org./documents/>
- Hernández, R; Fernández, CC; Pilar B. 2003. Metodología de la investigación. 3 ed. Ed. McGraw-Hill. México. 705 p.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1994. Monitoreo de la calidad del agua de riego. Anexo técnico. Comisión nacional del agua. México. 25 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía). 2007. Censo general de población y vivienda 2000. México (en línea). Consultado: 6 abril 2006. Disponible en: <http://www.inegi.com.mx>
- Kortatsi BK; Asigbe, J; Dartey, GA; Tay, C; Anornu, GK; Hayford, E. 2008. Reconnaissance Survey of arsenic concentration in ground-water in South-eastern Ghana. West African Journal of Applied Ecology Vol. 13:16-26.
- Lenntech. 2007. Arsénico, propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Holanda. (en línea). Consultado: 24 marzo 2007. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol.htm>
- NOM-117-SSA1-1994 (NORMA Oficial Mexicana). “Bienes y Servicios”, método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Consultado 3 nov. 2009. Disponible en <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/117ssa14.html>
- NOM-127-SSA1-1997 (NORMA Oficial Mexicana). “Salud Ambiental”, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (en línea). Consultado 3 nov. 2008. Disponible en <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
- Núñez, BJ. 1999. Evaluación hidrológica de la cuenca de Zimapán y sus implicaciones con la presencia de arsénico. Tesis. Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. 115 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2003. Agua, sanidad y salud (en línea). Consultado 15 mar. 2006. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/

- Prieto-García, F; Callejas Hernández, J; Lechuga, M de los A. 2005. Acumulación de tejidos vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán estado de Hidalgo, México. Barquisimeto-Cabudare, Venezuela. *Bioagro* 17(3):129-135.
- Prieto-García, F; Callejas Hernández, J; Román Gutiérrez A; Prieto Méndez, J; Gordillo Martínez, A. 2007. Acumulación de arsénico en el cultivo de habas (*Vicia faba*). *Agronomía Costarricense* 31(2):101-109.
- SEGOB (Secretaría de Gobernación). 2002. Tlacolula de Matamoros. Enciclopedia de los municipios de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Gobierno del Estado de Oaxaca, México. 220 p. (en línea). Consultado 11 junio 2006. Disponible en <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/oaxaca/municipios/20551a.htm>
- Sepúlveda Saa, R. 2009. El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas. *Ciencia UANL* 12(3):239-244.
- Violante, A; Pigna, M. 2002. Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1788-1796.
- WHO (World Health Organization). 2000. Arsenic in drinking water. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. Allan H. Smith, Elena O. Lingas, & Mahfuzar Rahman. *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, 78 (9). Geneva, Switzerland (en línea) Consultado 11 marzo 2006. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/>
- WHO (World Health Organization). 2001. Arsenic and arsenic compounds. *Environmental Health Criteria EHC 224*. 2 ed. World Health Organization. A Gomez-Camirero, P Howe, M Hughes, E Kenyon, DR Lewis, M Moore, J Ng, A Aitio, G Becking. Geneva, Switzerland, In press. 512 p. Consultado 4 sept. 2008. Disponible en http://www.who.int/pcs/pubs/pub_ehc_num.html
- Zaldivar, R. 1974. Arsenic contamination of drinking water and food stuffs causing endemic chronic poisoning. *In American Journal of Epidemiology*. Oxford University Press. Beitr Path Bd. 151:384-400.