

ACUMULACIÓN EN TEJIDOS VEGETALES DE ARSÉNICO PROVENIENTE DE AGUAS Y SUELOS DE ZIMAPÁN, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

Francisco Prieto-García¹, Judith Callejas H.¹, María de los Ángeles Lechuga¹,
Juan C. Gaytán² y Enrique Barrado E.³

RESUMEN

Se estudió el nivel de acumulación de arsénico en tejidos vegetales de la región de Zimapán, estado de Hidalgo, México, ya que debido a su ubicación geográfica y características geomorfológicas, los suelos (y aguas) presentan altos contenidos de arsénico natural. La determinación de los niveles de arsénico se realizó por absorción atómica mediante generador de hidruros. Se analizaron muestras de diversas especies vegetales incluyendo, hortalizas, frutales, especias y plantas medicinales. Los resultados mostraron que el agua y el suelo de esta región tienen altos niveles de arsénico, y la mayoría de los cultivos presentaron una concentración elevada de dicho elemento. Entre las especias con mayor capacidad de acumulación se encuentran el epazote y el perejil, entre las hortalizas el chayote, chile y tomate verde, entre los frutales el chilacayote, naranja, guayaba y aguacate, y en las medicinales el toronjil. Por otra parte, se observó que la hoja fue el órgano de las plantas que acumuló la mayor concentración de arsénico.

Palabras clave adicionales: Elementos tóxicos, hortalizas, frutales, especias, plantas medicinales

ABSTRACT

Accumulation in plant tissues of arsenic coming from water and soils of Zimapán, Hidalgo State, México

It was studied the level of arsenic accumulation in vegetal tissues in the Zimapán region, Hidalgo State, México, since due to its geographic location and geomorphologic characteristics, the soils (and waters) contain naturally high levels of arsenic. The determination of the arsenic levels was made by atomic absorption by means of hydride generation. Samples of different vegetables, fruit crops, spices, and medicinal plants were analyzed. The results proved that the water and soils of this region have high arsenic levels, and most crops have elevated concentration of the element. Among the crops with the highest accumulation capacity there were spices like epazote and parsley, vegetables like chayote squash, bell pepper and tomato, fruit crops like chilacayote, orange, guava and avocado, and medicinal plants like toronjil. On the other hand, it was observed that the leaf was the plant organ that accumulated the highest level of arsenic.

Additional key words: Toxic elements, vegetables, fruit crops, spices, medicinal plants

INTRODUCCIÓN

La acumulación de metales pesados en sólidos y sedimentos puede acarrear, a la larga, consecuencias negativas para el entorno ecológico, ya que se facilita la lixiviación de cantidades significativamente elevadas de elementos tóxicos que, posteriormente, se hacen accesibles a los sistemas acuosos y seres vivos. Por su parte, la acumulación en tejidos vegetales

puede llegar a producir daños genotóxicos en las células y de esta forma, se incorporan al hombre a través de la cadena alimenticia (Pérez, 2004).

Estudios sobre los contenidos de arsénico durante el período de marzo 1992 a marzo 1998 determinaron que los pozos de agua potable de la región de Zimapán, en el estado de Hidalgo en México se encuentran contaminados con arsénico según la Comisión Nacional del Agua (datos no publicados) y que rebasan el límite máximo

Recibido: Septiembre 27, 2005

Aceptado: Diciembre 20, 2005

¹ Centro de Investigaciones Químicas. e-mail: prietog@uaeh.reduaeh.mx

² Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo. Pachuca, Hidalgo. México

³ Facultad de Ciencias. Universidad de Valladolid. España.

permisible de $0,025 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ establecido por la Normativa Oficial Mexicana (NOM-127-SSAI-2000). Se han realizado monitoreos de dicho elemento y se llegó a la conclusión de cerrar algunos pozos ya que presentaban concentraciones de hasta $1,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

La Organización Mundial de la Salud ha llegado a la conclusión de que 1 de cada 10.000 habitantes corre el riesgo de adquirir cáncer de piel debido a la ingestión diaria de agua con concentraciones de $0,002 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Batsheba, 1996). Es importante destacar que en productos destinados al consumo humano, como verduras, hortalizas, frutas y otros, no se ha encontrado alguna norma que especifique si puede ser admisible la presencia de arsénico.

En este trabajo se estudiaron los niveles de bioacumulación de arsénico en diferentes cultivos de la región de Zimapán en suelos con presencia de este elemento y regados con aguas que igualmente presentan elevadas concentraciones de arsénico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubicó en el municipio de Zimapán, estado de Hidalgo, México (Figura 1), abarcando la zona de mayor densidad de población que puede estar expuesta al riesgo de bioacumulación de arsénico.

Los estudios de caracterización de las aguas recolectadas de los diferentes pozos de agua que abastecen a la población se realizaron mediante muestreos sistemáticos y representativos, mensualmente, durante un año, para evaluar los niveles medios de concentración de arsénico.

Para el muestreo de suelos se consideró un área circundante de 3 m alrededor de cada pozo muestreado para considerar la cantidad absorbida de cada uno y tomado en los primeros 50 cm desde la superficie. Se colectaron además, muestras de los suelos donde se encontraban los diferentes cultivos. Así mismo, se tomó una muestra de suelo denominada control en una zona de la carretera Pachuca-Ciudad Sahagún, la cual fue considerada como un suelo natural sin problemas de arsénico. Los muestreos se realizaron cada tres meses en cuatro campañas durante un año para considerar las variaciones climatológicas y estacionarias (Münch y Ángeles, 1998). Las muestras de suelo fueron secadas a 65

°C durante 72 horas. Posteriormente, se vaciaron en tamices Tyler para obtener partículas menores de $100 \mu\text{m}$ y se procedió a su digestión con HNO_3 concentrado a $200 \text{ }^\circ\text{C}$ y $1,2 \text{ MPa}$ de presión.



Figura 1. La ciudad de Zimapán Hidalgo y parte norte de la cuenca del valle de México, subcuenca del río Moctezuma. El recuadro indica la zona estudiada

Los cultivos analizados estuvieron representados por diferentes tipos de hortalizas, frutales, especias y plantas medicinales cultivadas en sembradíos y huertos familiares. Estas muestras se lavaron con abundante agua y se secaron a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 horas. Posteriormente, se trituraron en morteros, se vaciaron en tamices Tyler para obtener partículas de $100 \mu\text{m}$ de forma homogénea y fueron sometidas al proceso de digestión con HNO_3 concentrado.

La concentración de arsénico fue determinada mediante absorción atómica por generación de hidruros. Para ello se mezcló 1 mL de yoduro de potasio y 1 mL de ácido ascórbico, y luego se adicionó 1 mL de HCl concentrado y 10 mL de la muestra digerida. Para la generación de hidruros

se preparó una solución de NaBH_4 en NaOH (Norval y Butler, 1974). Para la curva de calibración se prepararon soluciones de arsénico de concentración conocida.

Para la determinación de la textura de los suelos se empleó un densímetro Robsan Bouyoucos y los resultados se llevaron al triángulo de suelos para clasificar las muestras según su textura.

Se utilizó estadística descriptiva, mediante los coeficientes de variación (C.V.), para reflejar la variabilidad de los resultados de los análisis de suelo y foliares. Así mismo, se utilizó la relación porcentual entre la concentración de arsénico en el suelo y en la planta para estimar la capacidad de ésta para absorber el contaminante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis de las muestras de aguas se observan, en promedio, en el Cuadro 1. En todos los casos los valores exceden al valor máximo permisible de $0,025 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de la normativa mexicana, por lo cual la población está expuesta a un elevado índice de toxicidad por este elemento de forma permanente.

Por otro lado, en el Cuadro 2 se muestran las altas concentraciones promedio de arsénico de los suelos estudiados, lo cual es indicativo de que la contaminación es de origen geomorfológico, y

en conjunto con las aguas que son utilizadas para el riego de cultivos, contribuyen en mayor o menor grado a hacer disponible el contaminante a las raíces de las plantas.

Cuadro 1. Valores promedios de concentración de arsénico (As) en pozos de abastecimiento a la población de Zimapán, en el distribuidor general de aguas y en el municipio de Pachuca (en paréntesis el C.V.)

Identificación	As ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
Pozo II	0,07 (5,07)
Pozo III	0,04 (4,79)
Pozo IV	0,24 (3,61)
Pozo V	0,48 (2,24)
Pozo VI	0,080 (4,34)
Distribuidor general	0,30 (2,89)
Pachuca (Control)	<0,008

En relación con la textura del suelo (Cuadro 2) se aprecia que los suelos evaluados se pueden clasificar en cuatro grupos: arena-franca (grupo 1), arena (grupo 2), arena-limosa (grupo 3) y limo-arenosa (grupo 4). La muestra de suelo denominada control fue clasificada a su vez como perteneciente al grupo 4 (textura limo-arenosa). Se observa que en su mayoría son suelos limo-arenosos, lo que puede indicar que los acuíferos estarían asociados a rocas carbonatadas fracturadas (Ramos, 1996; Martín, 2000).

Cuadro 2. Análisis de texturas y concentración de arsénico (As) en los suelos evaluados (n=2)

Identificación	Textura ^{1/}	As ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C.V. (%)
Pozo II	AF	17,650	0,52
Pozo III	A	8,669	6,13
Pozo IV	AF	20,177	1,35
Pozo V	A	20,878	4,84
Pozo VI	AL	0,717	2,49
Distribuidor general	LA	19,467	1,52
Zona norte del Distribuidor	LA	18,49	3,63
Zona sur del Distribuidor	LA	20,21	4,21
Zona este del Distribuidor	LA	19,71	2,49
Suelo control	LA	0,32	2,86

^{1/}A: Arena; AF: Arena-franca; AL: Arena-limosa; LA: Limo-arenosa

En cuanto al contenido de arsénico se observa que los suelos de los grupos 1 y 4 de Zimapán presentaron los mayores niveles de arsénico, lo que indica que éstos pudieran presentar altos contenidos de minerales arsenicales tales como arsenopiritas, rejalgar, oropimento, loellingita y/o

tennantita. De acuerdo a Galvão y Corey (1987a; 1987b) sólo el suelo del grupo 3 se puede considerar por sus niveles de arsénico como un suelo normal, no contaminado ($<2,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

En el Cuadro 3 se clasificaron los diferentes cultivos considerados como especias para su

posterior comparación. Se analizaron por separado hojas y tallos para evaluar qué parte del cultivo acumula mayormente el arsénico. Se puede apreciar que los de mayor acumulación fueron el perejil y el epazote, además de que en sus hojas se apreció la mayor capacidad de acumulación. De acuerdo a esto, se podría inferir que representa un riesgo para quien los

ingiera, ya que en estos cultivos es la hoja la principal fuente de consumo. La dosis de arsénico que un ser humano puede ingerir sin presentar un riesgo de cáncer es 0,0105 mg por día para una persona de 70 kg (Díaz, 1999), por tanto dependiendo de los hábitos de consumo pueden resultar en mayor o menor riesgo para la salud.

Cuadro 3. Valores promedio (n=4) de la concentración de arsénico (As) y coeficiente de variación en especias cultivadas en Zimapán

Especie	As (mg·kg ⁻¹)	C.V. (%)
<i>Thymus vulgaris</i> (Tomillo) Hoja	5,35	1,30
<i>Origanum majorana</i> (Mejorana) Hoja	7,07	0,70
<i>Origanum majorana</i> (Mejorana) Tallo	5,63	2,60
<i>Origanum majorana</i> (Mejorana) Raíz	6,35	7,41
<i>Petroselinum crispum</i> (Perejil) Hoja	10,73	1,00
<i>Petroselinum crispum</i> (Perejil) Tallo	4,42	0,90
<i>Chenopodium ambrosoides</i> (Epazote) Hoja	12,39	6,15
<i>Chenopodium ambrosoides</i> (Epazote) Tallo	7,93	1,20
<i>Chenopodium ambrosoides</i> (Epazote) Raíz	10,16	5,30
<i>Coriandrum sativum</i> (Cilantro) Hoja	2,67	1,50

De las especias que les siguen en cuanto a mayor concentración de arsénico fueron el tallo del epazote, el que indica la alta contaminación de arsénico que tiene esta especie, seguido por la hoja y tallo de mejorana, así como el tomillo y el tallo del perejil. El de menor concentración acumulada resultó ser el cilantro; sin embargo, los valores no dejan de ser preocupantes ya que en los vegetales de consumo humano no es permisible la presencia de arsénico más allá de lo indicado por Díaz (1999). A pesar de que las normas mexicanas de alimentos no establecen límites permisibles, es conocido que en algunos países se han indicado valores de hasta 0,2 mg·kg⁻¹ (datos no publicados).

En el Cuadro 4 se muestran los resultados en algunas hortalizas. En su mayoría se analizaron también las hojas y los tallos, de los cuales la hoja del chayote presentó un alto nivel de arsénico; los de menor concentración fueron el bulbo y las hojas de la cebolla, algunos como las hojas de col, lechuga, acelga, huauzontle, rábano y nopal presentaron un valor menor al límite de detección. Tanto la hoja del chile, como la del tomate verde presentaron una elevada

acumulación del arsénico, comprobando que la hoja tiene una gran capacidad de absorción de arsénico a través del agua y del suelo donde se cultivaron.

En el Cuadro 5 se muestran las concentraciones de arsénico en frutales, de los cuales el chilacayote fue el que presentó valores altos; dado que este fruto se prepara en forma de dulces, su consumo puede ser alto. Por otra parte, las hojas del naranjo muestran una baja concentración al igual que la hoja del durazno, pero aunque ninguna se usa para consumo directo, en algunos sitios se emplean como infusiones. Los tallos del chilacayote y durazno, así como el fruto de *Opuntia*, presentaron bajas concentraciones con un valor menor al límite de detección del equipo.

Otros cultivos evaluados y que son utilizados frecuentemente para infusiones medicinales pueden apreciarse en el Cuadro 6. Así, por ejemplo, el toronjil no debería ser utilizado indiscriminadamente debido a su elevada concentración de arsénico. Así mismo, aunque los tallos del toronjil y telimón no tienen un gran uso, presentan una alta concentración del contaminante.

Cuadro 4. Valores promedio (n=4) de la concentración de arsénico (As) y coeficiente de variación en hortalizas cultivadas en Zimapán

Especie	As (mg·kg ⁻¹)	C.V. (%)
<i>Brassica oleraceae</i> (Col) Hoja	<0,018	-
<i>Lactuca sativa</i> (Lechuga) Hoja	<0,018	-
<i>Beta vulgaris</i> (Acelga) Hoja	<0,018	-
<i>Sechium edule</i> (Chayote) Pulpa	7,90	2,25
<i>Sechium edule</i> (Chayote) Hoja	10,77	0,70
<i>Sechium edule</i> (Chayote) Tallo	5,05	1,00
<i>Chenopodium nutalliae</i> (Huauzontle) Hoja	<0,018	-
<i>Chenopodium nutalliae</i> (Huauzontle) Tallo	<0,018	-
<i>Lycopersicon</i> sp. (Tomate verde) Hoja	7,85	0,70
<i>Lycopersicon</i> sp. (Tomate verde) Fruto	3,95	0,90
<i>Allium cepa</i> (Cebolla) Bulbo	0,73	2,56
<i>Allium cepa</i> (Cebolla) Hoja	0,20	3,48
<i>Allium cepa</i> (Cebolla) Raíz	3,63	1,22
<i>Lycopersicon</i> sp. (Tomate rojo) Fruto	1,55	3,62
<i>Lycopersicon</i> sp. (Tomate rojo) Hoja	1,49	2,50
<i>Capsicum annuum</i> (Chile) Fruto	6,26	1,35
<i>Capsicum annuum</i> (Chile) Hoja	8,02	0,90
<i>Capsicum annuum</i> (Chile) Tallo	4,49	1,80
<i>Raphanus sativus</i> (Rábano) Fruto	<0,018	-
<i>Raphanus sativus</i> (Rábano) Hoja	0,007	0,69
<i>Opuntia nopalea</i> (Nopal)	<0,018	-

Cuadro 5. Valores promedio (n=4) de la concentración de arsénico (As) y coeficiente de variación en frutales cultivados en Zimapán

Especie	As (mg·kg ⁻¹)	C.V. (%)
<i>Citrus sinenses</i> (Naranja) Fruto	8,44	0,60
<i>Citrus sinenses</i> (Naranja) Hoja	0,003	9,60
<i>Prunus persica</i> (Durazno) Hoja	0,58	1,80
<i>Prunus persica</i> (Durazno) Tallo	<0,0175	-
<i>Punica granatum</i> (Granada) Hoja	7,12	1,20
<i>Punica granatum</i> (Granada) Tallo	5,64	0,70
<i>Cucurbita ficifolia</i> (Chilacayote) Fruto	10,74	1,00
<i>Cucurbita ficifolia</i> (Chilacayote) Tallo	<0,018	-
<i>Cucurbita ficifolia</i> (Chilacayote) Hoja	8,36	0,90
<i>Musa paradisiaca</i> (Plátano) Fruto	2,54	1,60
<i>Musa paradisiaca</i> (Plátano) Hoja	5,42	1,10
<i>Manilkara zapota</i> (Níspero) Fruto	2,82	1,80
<i>Manilkara zapota</i> (Níspero) Hoja	6,04	0,50
<i>Psidium guajava</i> (Guayabo) Hoja	8,42	0,50
<i>Persea americana</i> (Aguacate) Flor	5,73	1,80
<i>Persea americana</i> (Aguacate) Hoja	8,18	3,57
<i>Citrus aurantifolia</i> (Cáscara interna de limón)	0,94	3,10
<i>Citrus aurantifolia</i> (Cáscara externa de limón)	<0,018	-
<i>Citrus aurantifolia</i> (Limón) Hoja	9,07	1,60
<i>Opuntia nopalea</i> (Pulpa del fruto)	<0,018	-

Cuadro 6. Valores promedio (n=4) de la concentración de arsénico (As) y coeficiente de variación en plantas medicinales cultivadas en Zimapán

Especie	As (mg.kg ⁻¹)	C.V. (%)
<i>Cymbopogon citratos</i> (Telimón) Hoja	2,54	1,10
<i>Cymbopogon citratos</i> (Telimón) Tallo	6,16	1,23
<i>Matricaria chamomilla</i> (Manzanilla) Tallo	0,49	0,50
<i>Matricaria chamomilla</i> (Manzanilla) Flor	0,06	2,40
<i>Artemisa abrotanum</i> (Toronjil) Hoja	20,13	0,55
<i>Artemisa abrotanum</i> (Toronjil) Tallo	7,87	1,52

Los Cuadros 7, 8 y 9 muestran la relación porcentual de lo que cada uno de los cultivos estudiados son capaces de absorber en dependencia del suelo en el cual fueron cultivados (relación de absorción). Como se aprecia en los cultivos de la zona Sur (Cuadro 7) en las hojas de toronjil la relación alcanzó hasta el 99 % indicando su alta capacidad para absorber el arsénico. Se destacan aquellos que

presentan más de 40 % de acumulación. Como se aprecia en orden decreciente sería: hojas de toronjil> hojas de chayote> fruto de chilacayote> hojas de perejil> hojas de limón> frutos de naranjo> hojas de guayabo> hojas de chilacayote> hojas de aguacate hoja> pulpa de chayote. Es de destacar que, en muchos casos, las hojas de los cultivos resultan sitios preferenciales de acumulación de arsénico.

Cuadro 7. Relación porcentual de la concentración de arsénico en la planta en función de la presente en el suelo (zona Sur)

Especie	(%)	Especie	(%)
<i>Thymus vulgaris</i> (Tomillo)	26,48	<i>Citrus</i> sp. Cáscara interna de limón	4,65
<i>Cymbopogon citratus</i> (Telimón) Hoja	12,55	<i>Citrus</i> sp. Cáscara externa de limón	0,09
<i>Cymbopogon citratus</i> (Telimón) Tallo	30,51	<i>Sechium edule</i> (Chayote) Pulpa	40,01
<i>Citrus sinenses</i> (Naranja) Hoja	0,01	<i>Sechium edule</i> (Chayote) Hoja	53,32
<i>Citrus sinenses</i> (Naranja) Fruto	41,75	<i>Sechium edule</i> (Chayote) Tallo	24,87
<i>Prunus persica</i> (Durazno) Hoja	2,87	<i>Musa paradisiaca</i> (Plátano) Fruto	12,58
<i>Prunus persica</i> (Durazno) Tallo	0,09	<i>Musa paradisiaca</i> (Plátano) Hoja	26,83
<i>Origanum majorana</i> (Mejorana) Hoja	34,98	<i>Manilkara zapota</i> (Níspero) Fruto	13,99
<i>Origanum majorana</i> (Mejorana) Tallo	27,87	<i>Manilkara zapota</i> (Níspero) Hoja	29,90
<i>Punica granatum</i> (Granada) Hoja	35,26	<i>Cucurbita ficifolia</i> (Chilacayote) Hoja	41,37
<i>Punica granatum</i> (Granada) Tallo	27,93	<i>Cucurbita ficifolia</i> (Chilacayote) fruto	53,17
<i>Persea americana</i> (Aguacate) Fruto	28,36	<i>Cucurbita ficifolia</i> (Chilacayote) Tallo	0,09
<i>Persea americana</i> (Aguacate) Hoja	40,49	<i>Lycopersicon</i> sp. (Tomate rojo) Fruto	7,66
<i>Psidium guajava</i> (Guayaba) Hoja	41,67	<i>Lycopersicon</i> sp. (Tomate rojo) Hoja	7,35
<i>Petroselinum crispum</i> (Perejil) Hoja	53,09	<i>Citrus aurantifolia</i> (Limón) Hoja	44,87
<i>Petroselinum crispum</i> (Perejil) Tallo	21,89	<i>Artemisa abrotanum</i> (Toronjil) Hoja	99,61
<i>Citrus aurantifolia</i> (Limón) Hoja	44,87	<i>Artemisa abrotanum</i> (Toronjil) Tallo	38,93

Cuadro 8. Relación porcentual de la concentración de arsénico en la planta en función de la presente en el suelo (zona Este)

Especie	(%)	Especie	(%)
<i>Beta vulgaris</i> (Acelga) Hoja	0,09	<i>Allium cepa</i> (Cebolla) Bulbo	3,72
<i>Chenopodium ambrosoides</i> (Epazote) Hoja	62,86	<i>Allium cepa</i> (Cebolla) Hoja	1,03
<i>Chenopodium ambrosoides</i> (Epazote) Tallo	40,25	<i>Allium cepa</i> (Cebolla) Raíz	18,42
<i>Chenopodium ambrosoides</i> (Epazote) Raíz	51,56	<i>Capsicum annuum</i> (Chile) Fruto	31,76
<i>Coriandrum sativum</i> (Cilantro) Hoja	13,56	<i>Capsicum annuum</i> (Chile) Hoja	40,71
<i>Matricaria chamomilla</i> (Manzanilla) Tallo	2,49	<i>Capsicum nahum</i> (Chile) Tallo	22,81
<i>Matricaria chamomilla</i> (Manzanilla) Flor	0,30	<i>Opuntia nopalea</i> (Nopal)	0,09
<i>Lycopersicum</i> sp. (Tomate verde) Hoja	39,85	<i>Opuntia nopalea</i> (Nopal) Fruto	0,09
<i>Lycopersicum</i> sp. (Tomate verde) pulpa	19,96		

Cuadro 9. Relación porcentual de la concentración de arsénico en la planta en función de la presente en el suelo (zona Norte)

Especie	As absorbido (%)	Especie	As absorbido (%)
<i>Raphanus sativus</i> (Rábano) Fruto	0,09	<i>Brassica oleraceae</i> (Col) Hojas	0,09
<i>Raphanus sativus</i> (Rábano) Hojas	0,09	<i>Lactuca sativa</i> (Lechuga)	0,09
<i>Opuntia nopalea</i> (Nopal) Fruto	0,09	<i>Chenopodium nutalliae</i> (Huauzontle) Hoja	0,09
<i>Opuntia nopalea</i> (Nopal) Hojas	0,09	<i>Chenopodium nutalliae</i> (Huauzontle) Tallo	0,09

Después del toronjil, se encontró que la hoja de perejil, la del chayote y el fruto del chilacayote, dentro de sus respectivas clasificaciones, fueron los cultivos con los valores acumulados más altos en concentración de arsénico. Se observa que la relación de absorción superó el 50 % con respecto al suelo donde fueron cultivados (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

Las concentraciones de arsénico encontradas en los diferentes cultivos resultaron ser relevantes. Para los del tipo especias, destacaron el epazote, cilantro y mejorana, entre las que el cilantro es de amplio consumo. Para las hortalizas, lo fueron el fruto del tomate verde y el chile, ambos de amplia demanda y consumo en la dieta mexicana. En cuanto a los frutos, el chilacayote es el que presentó mayor concentración, en conjunto con los frutos del naranjo, níspero, plátano y granada. En los cultivos que son utilizados para infusiones medicinales, el toronjil no debe ser utilizado indiscriminadamente debido a su elevada concentración del contaminante.

LITERATURA CITADA

1. Batsheba, A. G. 1996. Drinking water regulations in the United States of America. Government Affairs Coordinator. Dallas Waters Utilities. Dallas.15 p.
2. Díaz Barriga, F. 1999. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Publicación 99.34.
3. Galvão L., A.C. y G. Corey. 1987a. Arsénico. Serie Vigilancia 8. Edit. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. Metepec, México. p 103.
4. Galvão L., A. C. y G. Corey. 1987b. Manganeso. Serie Vigilancia 3. Editorial Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. Metepec, México. p. 64.
5. Martín, R. F. 2000. Interacción de aguas contaminadas con arsénico con rocas calizas de Zimapán, Hidalgo. Tesis. Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México. México. 89 p.
6. Münch, L. y E. Ángeles. 1998. Métodos y Técnicas de Investigación. Editorial Trillas. México.
7. Norval, E. y L.R. Butler. 1974. Trace metals in man environment and their determination by atomic absorption spectroscopy. Spect. Atom. Med. Journal 48: 2624.
8. Pérez M., F. 2004. Lixiviación y precipitación de arsénico en aguas y lodos de pozos en el distribuidor general de Zimapán Hidalgo. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca. México. 187 p.
9. Ramos L., J.A. 1996. Parámetros estructurales que controlan la hidrodinámica de las aguas subterráneas en el área de Zimapán Hidalgo. Tesis. Instituto de Geología, Universidad Autónoma de México. México. 163 p.