

# Identificación de especies vegetales asociadas a jales del distrito minero de Guanajuato

Plant identification associated with mining district tailings of Guanajuato

Berenice Noriega-Luna\*\*\*\*, Aldo Alberto Morales-Rodríguez\*, Rafael Luna-Quintanilla\*\*, Talina Ulloa-Vázquez\*\*\*, Gustavo Cruz-Jiménez\*\*\*\*, Alma Hortensia Serafín-Muñoz\*\*\*\*, Norma Leticia Gutiérrez-Ortega\*\*\*\*

## RESUMEN

El estado de Guanajuato tiene una historia minera muy importante, pero también graves problemas ambientales aunados a los residuos generados por la explotación minera. Dichos residuos contienen altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (ETP), como arsénico, cadmio, selenio, plomo, mercurio, entre otros. No obstante, estos metales pueden ser removidos por técnicas de fitorremediación, esto es mediante el uso de plantas acumuladoras que son capaces de absorberlos y, como consecuencia, limpiar el área. El propósito de este trabajo fue coleccionar e identificar especies vegetales presentes en áreas impactadas por jales de las minas, ya que los listados de especies en estos lugares son escasos y posiblemente algunas especies pueden tener uso potencial para fitorremediación. En el sitio de estudio se encontraron 22 diferentes especies vegetales, algunas de ellas con posibilidad para utilizarse en tecnologías de fitorremediación, pues generan gran cantidad de biomasa, tal es el caso de *Acacia farnesiana*, *Acacia parviflora*, *Dodonaea viscosa*, *Senecio salignus*, *Asclepias curassavica* y *Phoradendron* sp.

## ABSTRACT

The State of Guanajuato has an important mining history but also serious environmental problems, together with the waste generated by exploitation. Such residues contain high concentrations of potentially toxic elements such as arsenic, cadmium, selenium, lead, mercury, among others. However, these metals can be removed by phytoremediation techniques, by using accumulating plants that are able to absorb, and as a result, area is cleaned. The purpose of this work was to collect and identify plant species impacted by tailings in mining areas. So far, lists of species found in such places are rare and may have a potential use for phytoremediation, depending on their tolerance to heavy metals and their ability to accumulate in their tissues. In the study site 22 different plant species were found, some with possibility for use in phytoremediation technologies because they generate large amount of biomass, as in case of *Acacia farnesiana*, *Acacia parviflora*, *Dodonaea viscosa*, *Senecio salignus*, *Asclepias curassavica* and *Phoradendron* sp.

Recibido: 17 de junio de 2016  
 Aceptado: 14 de octubre de 2016

### Palabras clave:

Fitorremediación; fitominería; metales pesados.

### Keywords:

Phytoremediation; phytomining; heavy metals.

### Cómo citar:

Noriega-Luna, B., Morales-Rodríguez, A. A., Luna-Quintanilla, R., Ulloa-Vázquez, T., Cruz-Jiménez, G., Serafín-Muñoz, A. H., & Gutiérrez-Ortega, N. L. (2016). Identificación de especies vegetales asociadas a jales del distrito minero de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 26(NE-2), 71-77. doi: 10.15174/au.2016.1465

## INTRODUCCIÓN

La actividad minera en Guanajuato indudablemente ha traído beneficios económicos importantes, sin embargo, ha tenido como consecuencia grandes impactos ambientales por los desechos generados. Estos desechos contienen altas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos, como arsénico, cadmio, selenio, plomo, mercurio, entre otros. El manejo inadecuado de los desechos ha dado lugar a la migración de metales pesados al medio circundante, lo que ha contribuido a la contaminación del suelo, destrucción del paisaje ecológico, contaminación de aguas subterráneas y disminución de la diversidad biológica (Rashed, 2010). En la actualidad, la fitorremediación es considerada una técnica efectiva para absorber o inmovilizar metales, además, es sustentable al ser un método efectivo de bajo costo y representa una alternativa a los métodos químicos y físicos convencionales para la remediación de sitios contaminados con metales pesados (Salt et al., 1995).

\* Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. Calle Aldana núm. 12, Colonia Pueblito de Rocha, Guanajuato, Gto., México, C.P. 3600. Correo electrónico: amoralesr13@gmail.com

\*\* Comisión Estatal del Agua de Guanajuato. Calle Balcones de Guanajuato núm. 45, Colonia Pastita, Guanajuato, Gto., México, C.P. 3600. Correo electrónico: rlunaq@guanajuato.gob.mx

\*\*\* División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato. Noria Alta s/n, Guanajuato, Gto., México, C.P. 36050. Correos electrónicos: taluv7@hotmail.com; cruzg@ugto.mx

\*\*\*\* División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato. Avenida Juárez núm. 77, Colonia Centro, Guanajuato, Gto., México, C.P. 36000. Correos electrónicos: berenice.noriega@ugto.mx; sermuah@ugto.mx; normagut@ugto.mx

◊ Autor de correspondencia.

La fitorremediación incluye básicamente las siguientes categorías (Chaney *et al.*, 1997; Raskin, Smith & Salt, 1997; Salt *et al.*, 1995; Salt, Smith & Raskin, 1998): fitoextracción, la cual consiste en la remoción y acumulación de los metales en los diferentes órganos de la planta; fitodegradación, es la degradación de contaminantes orgánicos por actividad de la planta y sus microorganismos asociados; rizofiltración, que consiste en la absorción de metales por las raíces a partir de cuerpos de agua; fitoestabilización, en la que se da la inmovilización o la reducción de la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes por el sistema radical y sus microorganismos asociados; y fitovolatilización, en la que se propicia la volatilización del contaminante por las plantas como puente entre el suelo y la atmósfera (Guo, George & Marschner, 1996).

En particular, la fitoextracción es una tecnología reciente que representa una estrategia efectiva y atractiva para descontaminar suelos (Krämer, 2005). Se basa en el uso de plantas con capacidad de transferir metales pesados de la raíz hacia la parte aérea, acumulando por ello concentraciones muy altas de metales pesados. Alternativamente, esta estrategia utiliza plantas que producen abundante biomasa con concentraciones normales de metales pesados (Salt *et al.*, 1995). Una vez que la planta es cosechada, los metales son también removidos y, posteriormente, estos contaminantes pueden ser recuperados a partir del material vegetal, proceso que se ha denominado *fitominería* (Krämer, 2005; Peuke & Rennenberg, 2005). La eficiencia de la fitoextracción depende de la producción de la biomasa vegetal y de la tolerancia de la planta a los metales pesados. En la naturaleza existen plantas hiperacumuladoras, cuyos contenidos de metales pesados es de 100 a 1000 veces más que en aquellas plantas no acumuladoras, y que además no expresan síntomas de toxicidad por la acumulación de estos contaminantes (Peuke & Rennenberg, 2005). Desafortunadamente, la mayoría de las especies vegetales hiperacumuladoras producen muy poca cantidad de biomasa. Por tanto, las investigaciones sobre la identificación de plantas acumuladoras de metales y de alta bioma son de gran interés para el desarrollo de las tecnologías de fitorremediación.

Es importante resaltar que para la aplicación de estas tecnologías es fundamental el uso de especies de plantas nativas, ya que la incorporación de especies

introducidas representa un problema para la biodiversidad. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo realizar una colecta de plantas presentes en áreas impactadas por jales de las minas de la comunidad Aurora en el municipio de Xichú, Guanajuato, con el fin de identificar plantas nativas de la región con capacidad para utilizarse con fines fitorremediadores y seleccionar aquellas que cumplan con las características morfológicas necesarias para dicho fin. El área elegida para la colecta de las plantas se localiza a la orilla del río Xichú. Se seleccionó este sitio porque a lo largo del valle del río se encuentran dispersos los desechos mineros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de la zona de estudio

La mina Aurora se localiza a 128 km al noroeste de la ciudad de Guanajuato y a 4 km al noroeste del municipio de Xichú, en las coordenadas 21° 19' 37" N y 100° 2' 5" O. La zona forma parte del área natural protegida denominada "Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato", y fue declarada área natural protegida en el 2007 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2007). En la zona se localizan cuatro grandes depósitos de jales mineros dispersos, los cuales presentan las siguiente referenciación geográfica (tabla 1), tomando como base el Datum WGS84 Zona 14 Norte. Los depósitos se denominaron Jal 1, Jal 2, Jal 3 y Jal 4. Se asume la antigüedad de los jales con base en la distancia que presentan con relación a la planta de beneficio, mientras más cercano se considera más antiguo. Por lo anterior, la antigüedad de los jales disminuye de Jal 1 a Jal 4 (figura 1).

**Tabla 1.**  
Referenciación geográfica de las presas de jales de la mina Aurora en Xichú, Guanajuato.

Número de Jal	Coordenadas geográficas		Elevación (m)
	Latitud norte	Longitud oeste	
1	21° 19' 37.07"	100° 2' 4.18"	1.12
2	21° 19' 47.94"	100° 1' 58.85"	1.11
3	21° 19' 46.13"	100° 1' 56.71"	1.115
4	21° 19' 55.87"	100° 1' 52.30"	1.099

Fuente: Datos obtenidos del Software Google Earth.



**Figura 1.** Imágenes satelitales de la zona de estudio a) Xichú, Guanajuato, México; b) Depósitos mineros respecto al municipio de Xichú; c) Zona de muestreo. Fuente: Imágenes obtenidas del Software Google Earth.

## Muestreo de especies vegetales

Se llevó a cabo un muestreo en los cuatro depósitos de jales a inicios de 2016. Los ejemplares fueron colectados de acuerdo con la técnica propuesta por Lot y Chiang (1986). Para la colecta de especies vegetales se estimó la cobertura vegetal, tomando aleatoriamente las especies con mayor cobertura dentro del sitio de estudio (Cano & Marroquín, 1994). Se colectaron tres especímenes de cada una de las especies, en algunos de los casos fue imposible obtener el espécimen completo debido a la dureza del suelo o por el complejo entramado del sistema de raíces de la planta. Las plantas se inmovilizaron en láminas de cartón para favorecer su deshidratación y evitar la formación de hongos, así como para su identificación en un herbario. La caracterización de las especies de flora presentes en el sitio se llevó a cabo a través de observación en campo y con base en la literatura (Calderón & Rzedowski, 2004; Díaz & Palacios, 1992; Terrones, González & Ríos, 2004).

**Tabla 2.**  
Listado de especies identificadas.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Asclepiadaceae	<i>Asclepias curassavica</i>	Veintiunilla
Asteraceae	<i>Eupatorium rugosum</i>	Eupatorio
Asteraceae	<i>Senecio salignus</i>	Jara amarilla
Bromeliaceae	<i>Hetchia</i> sp.	Guapilla
Buddlejaceae	<i>Buddleja perfoliata</i>	Salvia
Cactaceae	<i>Astrophytum ornatum</i>	Gorro de ovispo
Cactaceae	<i>Opuntia imbricata</i>	Cardenche
Cactaceae	<i>Stenocereus queretaroensis</i>	Pitayo
Euporbiaceae	<i>Ricinus comunis</i>	Higuerilla
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache yóndiro
Fabaceae	<i>Acacia parviflora</i>	Mezquitillo
Fabaceae	<i>Phitecellobium dulce</i>	Huamuchil
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate
Loranthaceae	<i>Phoradendron</i> sp.	Muérdago
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>	Ocotillo
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i> sp.	Flor de peña
Solanaceae	<i>Datura stramonium</i>	Toloache
Solanaceae	<i>Datura quercifolia</i>	Tolbache
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaquillo
Solanaceae	<i>Physalis cinerascens</i>	Costomate
Solanaceae	<i>Solanum torvum</i>	Sosa
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe vera</i>	Sabila

Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS

De los muestreos realizados en los jales de la mina Aurora se identificaron 22 especies vegetales pertenecientes a 13 familias. Las familias de mayor riqueza de especies fueron Solanaceae, Fabaceae y Cactaceae. La familia mejor representada fue Solanaceae, registrando un total de cuatro géneros y cinco especies. Siguiéndole la familia Cactaceae con un total de tres géneros y tres especies. Finalmente, la familia Fabaceae con un total de dos géneros y tres especies. El resto de las familias se caracterizó por un total de un género y una especie. La vegetación de la zona forma parte del bosque tropical cauducifolio ubicado en las partes más bajas de, cañadas y cañones. En las partes de mayor altitud por el matorral submontano (Carranza-González, 2005). Las especies recolectadas fueron en su mayoría arbustos y matorrales, enlistadas en la tabla 2.

Es importante destacar que algunas de las plantas encontradas podrían tener gran potencial como especies fitorremediadoras de ambientes contaminados por metales pesados, si produjeran suficiente biomasa. Como es el caso de *Acacia farnesiana* (figura 2), *Acacia parviflora* (figura 3), *Dodonaea viscosa* (figura 4), *Senecio salignus* (figura 5), *Asclepias curassavica* (figura 6) y *Phoradendron* sp. (figura 7), las cuales se encontraron en gran abundancia en el sitio de muestreo y cumplen con algunas características morfológicas necesarias para ser consideradas como plantas fitorremediadoras. Aun cuando se sugiere que los especímenes antes mencionados cumplen con ciertas especificaciones como plantas fitorremediadoras, es necesario comprobar con métodos analíticos si realmente absorben y/o son tolerantes a metales pesados.



**Figura 2.** Huizache yóndiro (*Acacia farnesiana*).  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.** Mezquitillo (*Acacia parviflora*).  
 Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Veintiunilla (*Asclepias curassavica*).  
 Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.** Ocotillo (*Dodonea viscosa*).  
 Fuente: Elaboración propia.



**Figura 7.** Muérdago (*Phoradendron* sp.).  
 Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** Jara Amarilla (*Senecio salignus*).  
 Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Diversos estudios han demostrado que plantas cercanas a presas de jales tienen la capacidad de concentrar elementos potencialmente tóxicos (EPT) en sus tejidos. Esto debido a que la estructura que presenta el material que constituye el jal es muy fina y, por tanto, sumamente susceptible a ser removida por agentes como el agua y el aire, lo que propicia su dispersión y acumulación tanto en el suelo como en los organismos vivos. Estos estudios permiten definir la vegetación como un indicador útil de la concentración de metales pesados en un medio donde la raíz de la planta consume metales que pueden integrarse al ambiente a escalas espacial y temporal (Pugh, Dick & Fredeen, 2002). Ejemplos de especies vegetativas con

esta capacidad se describen en los siguientes trabajos: Díaz-Garduño, Díaz-Osornio, Carrillo-González y González-Chávez (2005) desarrollaron un trabajo en jales de Zacatecas, encontrando 44 especies pertenecientes a 19 familias, siendo Asteraceae, Poaceae y Solanaceae las que se presentaron comúnmente. Los mismos autores en un jal de mina de Temascaltepec, México, identificaron 29 especies vegetales pertenecientes a 12 familias, siendo Asteraceae, Leguminosae y Poaceae las de mayor riqueza de especies. En el mismo contexto, Puga, Sosa, De La Mora, Pinedo y Jiménez (2006) realizaron un trabajo en San Francisco del Oro, al sur del estado de Chihuahua, donde el huizache (*Acacia farnesiana*), el táscate (*Juniperus deppeana*), la jarilla (*Baccharis glutinosa*), el mesquite (*Prosopis juliflora*) y el zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*) fueron las especies que destacaron por su capacidad de acumular arsénico (As) y zinc (Zn) en una zona de jales mineros. El huizache se reportó como especie dominante y con mayor capacidad de acumulación de arsénico en raíz, tallo y hojas. La jarilla presentó concentraciones elevadas de As y de Zn en hojas. El zacate pata de gallo tuvo niveles muy altos de Zn, tanto en hojas como en raíz y niveles altos de As en raíz y hojas. Por otro lado, Hernández, Mondragón, Cristóbal, Rubiños y Robledo (2009) desarrollaron un estudio en un jal de mina en Pachuca, Hidalgo, en donde identificaron 25 especies de plantas, siendo *Haplopappus venetus* la especie dominante. En cuanto a la cantidad de EPT que acumularon las especies, encontraron que *Solanum corymbosum* presentó mayor acumulación de cobre (Cu), *Brickelia veronicifolia* de plomo (Pb) y Zn, *Atriplex suberecta* de cadmio (Cd), *Cynodon dactylon* de manganeso (Mn) y *Bouteloua curtipendula* de níquel (Ni). Los autores sugieren el uso de estas especies en la rehabilitación de jales mineros. Respecto a especies vegetales resistentes a Zn, Smith, Naidu & Alston (1998) y Kalandadze (2003) identificaron especies de *Cynodon* acumuladoras de Zn, útiles en la remediación de suelos, ya que presenta una respuesta de correlación directa entre el grado de exposición al EPT y su tolerancia. Wu (1994) identificó las especies *Atriplex confertifolia* y *Atriplex patula* como hiperacumuladoras de selenio. Asimismo, Felipe y Pozuelo (2005) demostraron que especies del género *Haplopappus* pueden utilizarse como remediadoras de sitios contaminados con selenio.

Particularmente en este estudio se identificaron especies de las familias Asteraceae, Solanaceae, y Fabaceae que, de acuerdo con la literatura, son buenos candidatos fitoacumuladores con capacidad de reducir la concentración de elementos tóxicos presentes en los

jales del sitio de estudio. Además, se reporta que estas especies no presentan daños por la presencia de EPT, lo que se atribuye al nivel de adaptación desarrollado, pues durante varias generaciones han estado en contacto con la fuente de contaminación.

## CONCLUSIÓN

La fitorremediación es una tecnología biológica de bajo costo para la limpieza de sitios contaminados con metales pesados que involucra el uso de plantas de rápido crecimiento con capacidad de absorber metales y con alta producción de biomasa, sin embargo, para optimizar esta tecnología es necesario contar con un listado amplio de especies vegetales con uso potencial para la restauración de zonas afectadas por desechos mineros. La información preliminar obtenida en este estudio es trascendental para ampliar el conocimiento sobre plantas nativas asociadas a desechos mineros con características fitorremediadoras. En el sitio de estudio se encontraron 22 diferentes especies vegetales, algunas de ellas con posibilidad para utilizarse en tecnologías de fitorremediación, ya que generan gran cantidad de biomasa, tal es el caso de *Acacia farnesiana*, *Acacia parviflora*, *Dodonaea viscosa*, *Senecio salignus*, *Asclepias curassavica* y *Phoradendron* sp. No obstante, es importante continuar con la identificación de especies y evaluar a través de técnicas analíticas la capacidad de absorción y/o tolerancia de las especies a metales pesados.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Mauro Napsuciale Mendivil y al Dr. José Luis Lucio Martínez por su valioso apoyo, así como al biólogo Héctor Enrique Rodríguez Chávez por su apoyo en la identificación de especies.

## REFERENCIAS

- Calderón de Rzedowski, G., & Rzedowski, J. (2004). *Manual de malezas de la región de Saltillo Guanajuato. Flora del Bajío y regiones adyacentes, fascículo complementario XX*. México: Instituto de Ecología A.C. / Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán.
- Cano, G., & Marroquín de la Fuente, J. (1994). *Taxonomía de plantas superiores*. México: Trillas.
- Carranza-González, E. (2005). *Conocimiento actual de la flora y la diversidad vegetal del estado de Guanajuato. Flora del Bajío y de regiones adyacentes, fascículo complementario XXI*. México: Instituto de Ecología, A.C. / Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán.

- Chaney, R. L., Malik, M., Li, Y. M., Brown, S. L., Brewer, E. P., Angle, J. S., & Baker, A. J. M. (1997). *Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology*, 8(3), 279-284.
- Díaz, H., & Palacios, M. (1992). *Listado preliminar de especies pteridofitas de los estados de Guanajuato, Michoacán y Querétaro (México). Flora del Bajío y regiones adyacentes. Fascículo complementario III: 1-12*. México: Instituto de Ecología A.C. / Centro Regional del Bajío.
- Díaz-Garduño, M., Díaz-Osornio, A., Carrillo-González, R., & González-Chávez, M. C. (2005). Plantas que se desarrollan en áreas contaminadas con residuos mineros. En M. C. González-Chávez, J. Pérez-Moreno & R. Carrillo-González (Eds.). *El sistema planta-Microorganismo-Suelo en Áreas Contaminadas con Residuos de Minas* (pp. 9-33). Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.
- Felipe, M. A., & Pozuelo, J. (2005). El selenio en suelos y en plantas, su importancia en la salud. *Schironia*, 4, 30-36.
- Guo, Y., George, E., & Marschner, H. (1996). Contribution of an arbuscular mycorrhizal fungus to the uptake of cadmium and nickel in bean and maize plants. *Plant and Soil*, 184(2), 195-205.
- Hernández, E., Mondragón, E., Cristóbal, D., Rubiños, J., & Robledo, E. (2009). Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo (Serie Ciencias forestales y del ambiente)*, 15(2), 109-114.
- Kalandadze, B. (2003). Influence of the ore mining and processing enterprise of soil types in adjoining areas. *Agronomy Research*, 1(2), 131-137.
- Krämer, U. (2005). Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(2), 133-141.
- Lot, A., & Chiang, F. (1986). *Manual de herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. México: Consejo Nacional de la Flora de México A.C.
- Peuke, A. D., & Rennenberg, H. (2005). Phytoremediation. Molecular biology, requirements for application, environmental protection, public attention and feasibility. *European Molecular Biology Organization*, 6(6), 497-501.
- Puga, S., Sosa, M., De La Mora, A., Pinedo, C., & Jiménez, J. (2006). Concentraciones de As y Zn en vegetación nativa cercana a una presa de jales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(2), 75-82.
- Pugh, E., Dick, D., & Fredeen, A. (2002). Heavy Metal (Pb, Zn, Cd, Fe, and Cu) Contents of Plant Foliage near the Anvil Range Lead/Zinc Mine, Faro, Yukon Territory. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 52(3), 273-279.
- Rashed, M. N. (2010). Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1-3), 739-746.
- Raskin, I., Smith, R. D., & Salt, D. E. (1997). Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*, 8(2), 221-226.
- Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I., & Raskin, I. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology (N Y)*, 13(5), 468-474.
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 643-668.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2007). DECRETO por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la zona conocida como Sierra Gorda de Guanajuato localizada en los municipios de Atarjea, San Luis de la Paz, Santa Catarina, Victoria y Xichú, en el Estado de Guanajuato. *Diario Oficial de la Federación*, 1-23.
- Smith, E., Naidu, R., & Alston, A. (1998). Arsenic in the soil environment: a review. *Advances in Agronomy*, 64, 149-195.
- Terrones, T., González, C., & Ríos, S. (2004). *Arbustivas nativas de uso múltiple en Guanajuato*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Wu, L. (1994). Selenium accumulation and colonization of plants in soils with elevated concentration of selenium and salinity. En *Selenium in the Environment* (pp. 279-325). New York: W. Frankenberger & S. Benson.