

VEGETACIÓN, RESIDUOS DE MINA Y ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS DE UN JAL DE PACHUCA, HIDALGO, MÉXICO

E. Hernández-Acosta¹; E. Mondragón-Romero¹;
D. Cristobal-Acevedo¹; J. E. Rubiños-Panta²;
E. Robledo-Santoyo¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5 Carr. México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.
Correo-e: elizahac@yahoo.com.mx.

²Colegio de Posgraduados. Carretera México-Texcoco, km. 36. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

RESUMEN

Se estudió un jal de mina en Pachuca Hidalgo, con la caracterización física y química de residuos mineros, el contenido de elementos potencialmente tóxicos (cadmio, cobre, manganeso, níquel, plomo y zinc) y parámetros de vegetación. Se definieron nueve sitios de muestreo en el jal, en muestras compuestas se determinaron las características físicas, químicas y el contenido de elementos potencialmente tóxicos. Se utilizó el método de cuadrados para identificar especies vegetales y en muestras de tejido vegetal de cada especie se determinó el contenido de elementos potencialmente tóxicos. Los residuos mineros presentaron textura franco-arenosa, pH medianamente alcalino y bajo contenido de materia orgánica. El Zn (45 mg·kg⁻¹) y el Pb (14 mg·kg⁻¹) fueron los elementos con mayor concentración. Se identificaron 25 especies de plantas, *Haplopappus venetus* fue la más dominante. *Solanum corymbosum* presentó mayor acumulación de Cu (6 mg·kg⁻¹), *Brickelia veronicifolia* de Pb (5 mg·kg⁻¹) y Zn (20 mg·kg⁻¹), *Atriplex suberecta* de Cd (1 mg·kg⁻¹), *Cynodon dactylon* de Mn (69 mg·kg⁻¹) y *Bouteloua curtipendula* de Ni (4 mg·kg⁻¹). Se sugiere el uso de éstas especies en la rehabilitación de jales mineros.

PALABRAS CLAVE: contaminación, minas, plantas, rehabilitación de jales.

VEGETATION, MINING TAILINGS AND POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS OF A JAL FROM PACHUCA, HIDALGO, MÉXICO

SUMMARY

The present study took place on a mine jal from Pachuca, Hidalgo. Such jal had the physical and chemical characterization of mining waste, the contents of potentially toxic elements (cadmium, copper, manganese, nickel, plumb, and zinc) and the vegetation parameters. Nine sampling sites were defined in the jal. The physical and chemical characteristics and the content of potentially toxic elements were determined in compound samples. The method of squares was used in order to identify plant species and in plant tissue samples of each species, the content of potentially toxic elements was determined. The mining wastes showed a franc-sandy texture and with a pH moderately alkaline and a low content of organic matter. The Zn (45 mg·kg⁻¹) and the Pb (14 mg·kg⁻¹) were the elements with a higher concentration. Twenty-five species of plants were identified and from these, *Haplopappus venetus* was the dominant species. *Solanum corymbosum* showed the highest accumulation of Cu (6 mg·kg⁻¹) *Brickelia veronicifolia* of Pb (5 mg·kg⁻¹) and Zn (20 mg·kg⁻¹), *Atriplex suberecta* of Cd (1 mg·kg⁻¹), *Cynodon dactylon* of Mn (69 mg·kg⁻¹) and *Bouteloua curtipendula* of Ni (4 mg·kg⁻¹). It is recommended to use these species in the rehabilitation of mining jales.

KEY WORDS: pollution, mines, plants, rehabilitation of jales.

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, practicada desde la época prehispánica y fuente de la expansión regional desde la Colonia. En el desarrollo del país fue un factor importante de modernización y avance, al suministrar insumos a prácticamente todas las industrias, entre las que destacan las de la construcción, metalúrgica, siderúrgica, química y electrónica. La actividad minera en México se realiza principalmente en los estados del norte, con clima predominantemente árido y en menor proporción en el centro del país. Los residuos, producto de la actividad minera son usualmente depositados a cielo abierto, en donde sufren procesos de intemperismo (SEMARNAT-BCS, 2001; Volke *et al.*, 2005).

Los minerales se extraen y se concentran al utilizar métodos físicos, posteriormente se separa la fracción económicamente redituable por gravimetría. Los materiales con baja concentración de metal se retiran en forma de lodos que contienen altas cantidades de elementos potencialmente tóxicos (EPT). Los lodos son depositados en tinajas que en México se denominan presas de jales, estos materiales son difícil de eliminar, ya que pueden permanecer durante décadas en el suelo e incorporarse en la cadena trófica (PROFEPA, 2000). Los EPT producen intoxicaciones y malformaciones en mamíferos (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007). Algunos elementos que se encuentran en los jales de mina son: zinc, cadmio, plomo, níquel, selenio, molibdeno, telurio y arsénico (Remon *et al.*, 2005).

El estado de Hidalgo es rico en yacimientos de oro, plata, cobre, zinc y mercurio, que se envían a otras entidades de México y al extranjero, para su industrialización. En el estado las compañías mineras Real del Monte y Pachuca, S.A. y Minera Autlán son las más importantes (COREMI, 1992). La ciudad de Pachuca, Hgo., tiene jales de mina que resultaron de la acumulación de más de 200 años; el método de beneficio empleado en este distrito minero para la extracción del Au y Ag fue principalmente por amalgamación con Hg y por cianuración. Muchos habitantes de la ciudad no perciben el problema ambiental; considerando que las condiciones meteorológicas (vientos que alcanzan velocidades de 65 kph y que se presentan hasta nueve meses al año) favorecen la dispersión de partículas finas que se encuentran en la superficie de los jales (COREMI, 1992; Romero *et al.*, 2008).

Existen algunos reportes que señalan la problemática ambiental que representa para el hombre los residuos de minería; Cortinas de Nava (2008), señala que en condiciones normales de operación de los depósitos o presas de jales mineros, y como consecuencia de tormentas y derrames de líquidos en las presas, puede ocurrir la contaminación de los cuerpos de abastecimiento de agua con el posible deterioro de su calidad, sobre todo si los jales tienen pH o

contenido de metales que pueden volver el agua temporal o permanentemente no apta para el consumo.

El objetivo del presente trabajo fue realizar una caracterización física y química de residuos mineros y de especies vegetales, del jal de mina Dos Carlos, en la ciudad de Pachuca, Hgo., México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El jal se conoce con el nombre Dos Carlos, se ubica en las coordenadas 20° 06' latitud norte y 98° 43' longitud oeste a una altitud de 2,437 m. Tiene un área de 23 ha, una altura promedio de 20 m y un volumen de 14,333,492 t; donde es posible obtener 0.17 g·t⁻¹ de oro y 37.72 g·t⁻¹ de plata (COREMI, 1992).

Muestreo de residuos y plantas en el jal. De acuerdo con la superficie del jal y la presencia de especies vegetales, se delimitaron nueve puntos de muestreos. Después, se realizó un muestreo selectivo de los residuos mineros de acuerdo con Volke *et al.* (2005) consideraron las especies arbustivas y herbáceas que han colonizado el sitio. En cada punto de muestreo se establecieron unidades de muestreo de 4 x 4 m (16 m²) y de 1 x 1 m (1 m²), a distancia de 30 m. En las primeras parcelas se identificaron y midieron especies arbustivas y en las segundas especies herbáceas de acuerdo con Sutherland (1996). Se recolectaron tres ejemplares de cada especie para su determinación botánica.

Preparación y análisis físico y químico de residuos mineros y muestras vegetales. Se trabajaron muestras compuestas (de 1 kg), cada submuestra que formó la muestra compuesta, fue de un mismo volumen (de 150 a 200 g) y representó el mismo horizonte del sitio muestreado, por lo que se mezclaron submuestras obtenidas a la misma profundidad. De acuerdo con las metodologías establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, en laboratorio se determinaron las propiedades físicas del suelo:

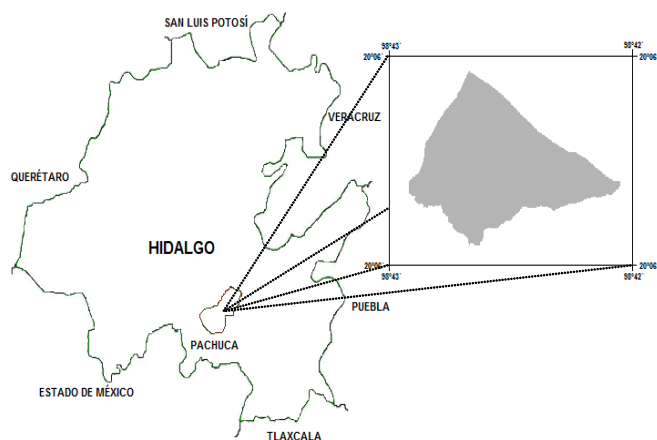


FIGURA 1. Ubicación del área de estudio, jal de Mina Dos Carlos, ciudad de Pachuca.

densidad aparente (método de la probeta) y textura (método de Bouyoucos). Las variables químicas analizadas fueron: pH (potenciómetro relación suelo:agua 1:2), porcentaje de materia orgánica (método de Walkley y Black), nitrógeno inorgánico (extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor), fósforo (método de Olsen), cationes intercambiables K, Ca, Na y Mg (extraídos con acetato de amonio 1N, pH 7.0) y concentraciones extractables de elementos potencialmente tóxicos (extraídos con DTPA): cadmio, cobre, manganeso, níquel, plomo y zinc; cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica.

Para el análisis químico del tejido vegetal, se colectaron diez ejemplares de cada especie, los cuales fueron identificados botánicamente en el Herbario del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, donde quedaron depositados para su consulta. Posteriormente se realizó un listado florístico del área y se obtuvo la concentración de los elementos potencialmente tóxicos cadmio, cobre, manganeso, níquel, plomo y zinc en las especies vegetales recolectadas. Cada planta se separó en follaje y raíz, después se secaron en una estufa a una temperatura de 70 °C, se molieron y pesaron con un tamiz de malla 60. Estas muestras se sometieron a una digestión con una mezcla de ácido perclórico y sulfúrico en proporción 1:4 y se cuantificó: cadmio, cobre, manganeso, níquel, plomo y zinc por espectrometría de absorción atómica.

Los resultados de la caracterización físico-química de los residuos mineros se interpretaron con la NOM-021-RECNAT-2000; y la interpretación del contenido extractable de EPT en los residuos y en el tejido vegetal se realizó con la misma norma y de acuerdo con Romero *et al.* (2008), Page *et al.* (1981) y Carrillo-González (2005).

RESULTADOS

Características físicas y químicas del jal de mina.

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, los residuos del jal presentaron: densidad aparente alta, textura franco

arenosa, pH neutro a medianamente alcalino, contenidos: muy bajo de materia orgánica, medio de nitrógeno inorgánico, bajo de fósforo, alto de calcio, de muy bajo a alto en magnesio y de bajo a alto en potasio (Cuadro 1).

Concentración de EPT presentes en el jal. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, los contenidos de EPT en los residuos mineros del jal fueron los siguientes: adecuado para cobre, manganeso y zinc, y normal para cadmio, plomo y níquel. El EPT extractable que presentó mayor concentración fue el zinc con un contenido promedio de 45.640 mg·kg⁻¹, seguido del plomo con 14.710 mg·kg⁻¹. El menor contenido lo presentaron el cadmio con 0.981 mg·kg⁻¹ y el níquel con 0.168 mg·kg⁻¹ (Cuadro 2).

Determinación taxonómica y concentración de EPT en plantas crecidas en el jal. Se determinaron 25 especies vegetales pertenecientes a siete familias, siendo las más representativas Asteraceae con nueve especies y Poaceae con siete especies (Cuadro 3). Las especies que concentraron mayor cantidad de EPT fueron: *Solanum corymbosum* (cobre), *Brickelia veronicifolia* (plomo y zinc), *Atriplex suberecta* (cadmio), *Cynodon dactylon* (manganeso) y *Bouteloua curtipendula* (níquel) Cuadro 3.

DISCUSIÓN

Características físicas y químicas del jal de mina.

La densidad aparente que presenta el jal en estudio, corresponde a suelos arenosos, Puga *et al.* (2006) evaluaron concentraciones totales de arsénico y zinc en presas de jales de San Francisco del Oro Chihuahua, México, donde obtuvieron una textura areno-arcillosa.

Los residuos mineros del jal presentaron pH de neutro a medianamente alcalino, estudios realizados en otros jales de México han referido valores de pH similares. Así, Carrillo-González (2005) encontró pH alcalino en jales de mina del estado de Zacatecas y pH de ligeramente ácido a neutro en jales de mina de Temascaltepec, Estado de México. Por

CUADRO 1. Características físicas y químicas de residuos mineros de un jal de Pachuca, Hidalgo.

Sitio	Densidad Aparente	Arena	Limo %	Arcilla	Textura	pH _{H₂O} (1:2)	Materia orgánica %	Nitrógeno inorgánico mg kg ⁻¹	Fósforo	Cationes intercambiables			
										K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
										cmol ₍₊₎ kg ⁻¹			
1	1.55	58.2	36.0	5.8	Franco Arenoso	7.0	0.07	31.5	1.2	0.22	0.34	6.8	0.6
2	1.55	62.2	30.0	7.8	Franco Arenoso	7.1	0.14	24.5	6.0	0.34	0.44	29.8	0
3	1.56	54.2	30.0	15.8	Franco Arenoso	7.0	0.07	21.0	1.3	0.32	0.44	17.0	0.2
4	1.47	56.2	30.0	13.8	Franco Arenoso	7.5	1.10	28.0	8.9	0.94	0.87	16.6	1.8
5	1.56	70.2	22.0	7.8	Franco Arenoso	7.4	0.14	28.0	2.0	0.26	0.50	13.6	1.2
6	1.52	60.2	28.0	11.8	Franco Arenoso	7.7	0.07	31.5	0.7	0.43	0.73	16.4	3.2
7	1.55	62.2	34.0	3.8	Franco Arenoso	7.0	0.14	31.5	1.0	0.29	0.48	21.6	0.4
8	1.67	56.2	32.0	11.8	Franco Arenoso	7.5	0.07	28.0	5.4	0.38	0.50	16.0	2.0
9	1.45	66.2	24.0	9.8	Franco Arenoso	7.6	0.07	21.0	0.1	0.49	0.64	16.6	3.0

CUADRO 2. Contenido extractable de Elementos Potencialmente Tóxicos en los residuos mineros del un jal de Pachuca, Hidalgo.

Sitio	Cadmio	Cobre	Manganeso mg·kg ⁻¹	Níquel	Plomo	Zinc
1	1	6	4	0.1	16	47
2	0.8	3	3	0.2	4	42
3	0.9	6	4	0.1	5	75
4	0.9	7	1	0.1	19	44
5	1	3	3	0.1	21	42
6	1	6	1	0.1	34	91
7	0.9	5	15	0.2	5	32
8	0.6	3	1	0.1	7	34
9	0.5	3	2	0.07	17	0.4

otro lado, Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach (2006) estudiaron jales de cianuración en el Distrito Minero de Guanajuato y encontraron valores de pH medianamente alcalinos.

El contenido de materia orgánica fue muy bajo en la mayoría de los sitios, lo que se relaciona con baja porosidad y con densidad aparente mayor, reflejándose en un ambiente impropio para la penetración radical y, por ende, en una baja fertilidad natural (Castellanos *et al.*, 2000). Resultados similares fueron obtenidos por Ramos-Arroyo y Siebe-Grabach (2006) quienes encontraron variaciones entre jales de 0.36 y 1.34 %, considerándose en el intervalo de muy bajo a bajo. Carrillo-González (2005) en un jal de Temascaltepec, Estado de México encontró que el contenido de materia orgánica varió de bajo (0.6 %) a alto (5.4 %), presentándose el mayor contenido en la cima del jal y el menor en las laderas.

El general los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio fueron bajos. La importancia de nutrimentos como el nitrógeno, fósforo y potasio radica en mayor medida en que son elementos esenciales para el desarrollo de las plantas y que las necesidades de estos elementos dependen directamente del tipo de especie vegetal que se desarrolla en el sitio (Castellanos *et al.*, 2000). Por

CUADRO 3. Especies vegetales y extracción de EPT en residuos mineros de un jal de Pachuca, Hidalgo.

Familia Especie	Elementos Potencialmente Tóxicos					
	Cadmio	Cobre	Manganeso mg kg ⁻¹	Níquel	Plomo	Zinc
Cactaceae	<i>Opuntia</i> sp. (1)	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Opuntia</i> sp. (2)	ND	ND	ND	ND	ND
Asteraceae	<i>Bahia pringlei</i> Greenm.	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Haplopappus venetus</i> (Kunth) S.F. Blake	2.23	2.30	0.32	14.11	16.68
	<i>Montanoa tomentosa</i> Cerv.	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	2.26	5.15	0.66	20.33	21.19
	<i>Eupatorium vernicosum</i> Sch. Bip.	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Parthenium bipinnatifidum</i> (Ort.) Rollins	1.73	3.70	0.16	3.51	2.75
	<i>Artemisia klotzschiana</i> Besser	1.75	3.98	1.59	0.59	9.06
	<i>Zaluzania triloba</i> (Ort.) Pers.	1.11	4.13	0.13	1.81	2.68
<i>Baccharis</i> sp.	ND	ND	ND	ND	ND	
Poaceae	<i>Stipa constricta</i> Hitchc.	2.19	3.89	0.36	9.72	18.47
	<i>Stipa tenuissima</i> Trin.	0.68	3.32	0.48	2.22	10.11
	<i>Lycurus phleoides</i> H.B.K.	1.63	3.59	0.24	5.53	22.84
	<i>Muhlenbergia repens</i> (J. Presl) Hitchc.	0.75	4.02	0.28	4.55	15.76
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	1.93	4.21	0.29	16.03	69.84
	<i>Bouteloua curtipendula</i> Michx. Torr.	1.57	2.06	0	14.13	19.34
	<i>Leptochloa dubia</i> (HBK) Nees	2.65	4.98	0.30	10.18	45.79
Leguminosae	<i>Dalia obovatifolia</i> Ort.	1.26	4.68	0.23	5.08	16.31
	<i>Medicago polymorpha</i> L.	ND	ND	ND	ND	ND
Chenopodiaceae	<i>Atriplex</i> sp.	1.00	3.73	0.34	4.25	28.80
	<i>Atriplex suberecta</i> Verd.	1.71	3.93	1.82	2.45	6.10
Solanaceae	<i>Solanum corymbosum</i> Jacq.	6.63	2.11	0.11	9.17	9.08
	<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	1.16	4.08	0.28	14.55	13.88
Cruciferae	<i>Eruca sativa</i> Mill.	0.59	3.96	0.25	3.69	4.53

ND. No determinado.

lo anterior, se concluye que los residuos mineros del jal no presentan contenidos adecuados de elementos esenciales para favorecer el desarrollo de especies vegetales.

Concentración de EPT presentes en el jal. Al comparar los resultados con la NOM-021-RECNAT-2000, el cadmio rebasó el contenido considerado como normal, sin llegar a una concentración peligrosa, en tanto que el plomo y níquel se encontraron dentro del contenido normal. Romero *et al.* (2008), realizaron un estudio geoquímico en jales de las regiones mineras de Nacozari-Sonora; sus resultados mostraron concentraciones bajas de zinc ($91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), similares a las obtenidas en este estudio. También encontraron concentraciones altas de cobre ($535 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), superiores a las obtenidas en este trabajo y concentraciones bajas de plomo ($< 20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); menores a las obtenidas en este estudio (4.3 a $34.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Límites utilizados por Romero *et al.* (2008) y Puga *et al.* (2006), para determinar contenidos peligrosos de EPT están referidos en contenidos totales, en cambio en este estudio se determinaron los contenidos extractables; que son la parte del contenido total que puede asimilar la planta, por lo que los EPT no son peligrosos en el área de estudio. Sin embargo, el contenido de algunos EPT rebasa lo que de manera natural contiene un suelo; por ejemplo en el caso de cadmio, Page *et al.* (1981) mencionan que los suelos no contaminados presentan una concentración menor a $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Carrillo-González (2005) quien encontró en residuos mineros de jales de Zacatecas y del Estado de México, que las concentraciones mayores de EPT extractables correspondían a plomo, zinc y manganeso; y las menores a cadmio y níquel.

Determinación taxonómica de plantas crecidas en el jal. La familia que mayor número de especies presentó en el jal fue Asteraceae, a lo cual Díaz *et al.* (2005), atribuyen a que es una de las familias con mayor número de especies en el mundo y que además presenta uno de los mecanismos de dispersión más eficientes, ya que sus semillas son principalmente anemócoras. De las especies determinadas, el COREMI (1992) señala al género *Opuntia*, como vegetación natural propia de la Sierra de Pachuca y del Distrito de Pachuca Real del Monte.

Díaz *et al.* (2005) en jales de Zacatecas encontraron 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. La mayor parte son malezas y especies de sucesión secundaria.

En bancos de material abandonados, Muñoz *et al.* (2006) registraron 50 especies vegetales representadas en nueve familias, siendo las especies dominantes de las familias Poaceae, Asteraceae y Leguminosae. Entre las especies que fueron identificadas en el presente estudio y que han sido mencionadas por otros investigadores, se encuentran *Brickellia veronicifolia*, *Zaluzania triloba*, *Solanum elaeagnifolium*, *Stipa tenuissima*, *Bouteloua curtipendula*, *Haplopappus venetus* y *Cynodon dactylon* (Remon *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2005; Puga *et al.*, 2006; Muñoz *et al.*, 2006).

Acumulación de EPT en la vegetación. En cuanto a la cantidad de EPT que acumularon las especies, se encontró que *Solanum corymbosum* mostró mayor cantidad de Cu, *Brickellia veronicifolia* de Pb y Zn, *Atriplex suberecta* de Cd, *Cynodon dactylon* de Mn y *Bouteloua curtipendula* de Ni. A pesar del contenido de EPT en su biomasa, estas especies de plantas no presentaron daños físicos en su apariencia, al respecto Hernández (2001) señala que las plantas tienen habilidad de desarrollar resistencia contra daños ocasionados por metales pesados, por un carácter fijado genéticamente, pero modificable por adaptación. Por esta propiedad, estas especies pueden utilizarse en la remediación de suelos contaminados.

En relación a especies vegetales estudiadas en jales de mina, Puga *et al.* (2006) encontraron que *Cynodon dactylon* presentó concentraciones fitotóxicas de As y Zn en jales de Chihuahua. Smith *et al.* (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. Las especies *Atriplex confertifolia* y *Atriplex patula* fueron indicadas por Wu (1994), como hiperacumuladoras de selenio. Por otro lado, Felipe y Pozuelo (2005) señalan que especies del género *Haplopappus* pueden utilizarse como remediadoras de sitios contaminados con selenio.

CONCLUSIÓN

Las propiedades físicas y químicas de los residuos de mina permiten el establecimiento de especies vegetales capaces de reducir la disposición de elementos potencialmente tóxicos en el suelo y en el aire, al favorecer la acumulación de los mismos en sus tejidos. Se sugiere la revegetación total del jal de mina con las especies vegetales descritas en el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo otorgado por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo, por el financiamiento del proyecto.

LITERATURA CITADA

- CARRILLO-GONZÁLEZ, R. 2005. Niveles de contaminación de los suelos y las plantas. *In*: GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C.; PÉREZ-MORENO, J. Y CARRILLO-GONZÁLEZ, R. (eds.). 2005. El Sistema Planta-Microorganismo-Suelo en Áreas Contaminadas con Residuos de Minas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 161 p.
- CASTELLANOS, J. Z.; UVALLE-BUENO, J. X. y AGUILAR-SANTELISES, A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2ª. Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. San Miguel de Allende, Gto. 226 p.
- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES (COREMI). 1992. Monografía geológico-minera del Estado de Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales. Pachuca, Hgo. México. 58-61 p.
- CORTINAS De NAVA, C. 2008. Manejo de los relaves o jales mineros. Instituto Nacional de Ecología (INE). Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas del INE. página <http://www.ine.gob.mx>. visitada el 20 de junio de 2008.
- DÍAZ, G. L. M.; DÍAZ, O. A.; CARRILLO-GONZÁLEZ, R. y GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C. 2005. Plantas que se desarrollan en áreas contaminadas con residuos mineros. *In*: GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C.; PÉREZ-MORENO, J. Y CARRILLO-GONZÁLEZ, R. (eds.). 2005. El Sistema Planta-Microorganismo-Suelo en Áreas Contaminadas con Residuos de Minas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 161 p.
- FELIPE, MA. R.; POZUELO, J. M. 2005. El selenio en suelos y en plantas, su importancia en la salud. *Schironia*: 4: 30-36.
- HERNÁNDEZ, G. R. 2001. Nutrición Mineral de las Plantas. Material didáctico. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- KABATA-PENDIAS A.; MUKHERJEE A. A. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 550.
- KALANDADZE, B. 2003. Influence of the ore mining and processing enterprice of soil types in adjoining areas. *Agronomy Research* 2, 131-137 p.
- MUÑOZ, U. A.; ROMO, C. R. De L.; CONTRERAS, R. S. H.; HUERTA, M. M. 2006. Vegetación secundaria como un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería a cielo abierto en la zona de amortiguamiento del bosque La Primavera. Memoria Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. Universidad de Guadalajara. México 409-415 p.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 73 p.
- PAGE, A. L.; BINGHAM, F. T.; CHANG, A. C. 1981. Cadmium. pp. 77-109, N. W. LEPP. (ed), Effect of Heavy metal Pollution on Plants. Vol. 1. Applied Science, BarKin, Essex, England.
- PROFEPA. 2000. Segundo grupo de criterios interinos de restauración de suelos contaminados con inorgánicos tóxicos (metales pesados) y otros. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. D. F.
- 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. Distrito Federal, México.
- RAMOS-ARROYO, Y. R.; SIEBE-GRABACH, C. D. 2006. Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 23(1):54-74.
- REMON, E.; BOUCHARDON, J. L.; CORNIER, B.; GUY, B.; LECLERC, J. C.; FAURE O. 2005. Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical landfill: Implications in risk assessment and site restoration. *Environmental Pollution* 137: 316-323.
- ROMERO, F. M.; ARMIENTA, Ma. A.; GUTIÉRREZ, M. E.; VILLASEÑOR, G. 2008. Factores geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 24: 43-54.
- SEMARNAT-BCS. 2001. Sitios Contaminados con Residuos Sólidos Peligrosos de Origen Minero. Informe presentado por la Delegación de la SEMARNAT en Baja California Sur a la Dirección General del CENICA. La Paz, BCS.
- SMITH E.; NAIDU, R.; ALSTON, A. M. 1998. Arsenic in the soil environment: a review. *Adv. Agron.* 64:149-195 p.
- SUTHERLAND, W. J. 1996. Ecological Census Techniques. A handbook University of Anglia. Printed in the United Kingdom at the University Press. Cambridge.
- VOLKE, S. T.; VELASCO, T. J. A.; DE LA ROSA, P. D. 2005. Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: Muestreo y Alternativas para su Remediación. SEMARNAT-INE. México D.F. 141 p.
- WU, L. 1994. Selenium accumulation and colonization of plants in soils with elevated concentration of selenium and salinity. *In*: FRANKENBERGER, W. T. JR. AND BENSON, S. (eds). Selenium in the environment. Marcel Dekker. New York. pp 279-325.