

VERMICOMPOST Y ESTIÉRCOL OVINO PARA ESTABILIZAR ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN UN RESIDUO DE MINA

VERMICOMPOST AND SHEEP MANURE USED TO STABILIZE POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN MINE RESIDUES

Carrillo-González R.^{1*}; Perea-Vélez Y.S.¹; González-Chávez M.C.A.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5. Carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado de México 56230.

*Autor de correspondencia: crogelio@colpos.mx

RESUMEN

Se realizó una selección de enmiendas para reducir la disponibilidad de Cu, Pb, Cd y Zn de un residuo de mina de Zimapan, Hidalgo. Vermicompost (V) y estiércol ovino (E) se utilizaron como enmiendas orgánicas (1=5%, 2=10% y 3=15% masa/masa) y perlita expandida como enmienda inorgánica (PE1=2%, PE2=5%, PE3=10% y PE4=20%). Se evaluó la estabilización (disponibilidad) de elementos potencialmente tóxicos (EPT) después de la incubación por 75 días del residuo de mina con las enmiendas. Se realizó análisis de infrarrojo (IR) para determinar grupos funcionales posiblemente involucrados en la estabilización de los EPT. Las enmiendas V2, V3 y E1 estabilizaron la mayor proporción de Pb (16%, 16% y 18%, respectivamente). Asimismo, E1, E2 y E3 redujeron de 14% a 18% la disponibilidad de Cu. No se observó disminución de disponibilidad de Zn con ninguna de las enmiendas. Todas las enmiendas solubilizaron Cd. El análisis de IR mostró que grupos fosfato de las enmiendas se modifican al estar en contacto con el residuo de mina. De igual manera, se observaron grupos aromáticos enlazados a los OH y NH. Estos podrían interactuar con EPT y estabilizarlos. Con base en los resultados obtenidos se recomienda el uso de V y E; sin embargo, se sugiere mayor tiempo de incubación para aumentar la estabilización de los EPT.

Palabras clave: enmiendas orgánicas e inorgánicas, contaminación del suelo.

ABSTRACT

A selection of amendments was carried out to reduce the availability of Cu, Pb, Cd and Zn from a mine residue of Zimapan, Hidalgo. Vermicompost (V) and sheep manure (E) were used as organic amendments (1=5%, 2=10% and 3=15% mass/mass) and expanded perlite as inorganic amendment (PE1=2%, PE2=5%, PE3=10% and PE4=20%). The stabilization (availability) of potentially toxic elements (PTE) was evaluated after incubation for 75 days of the mine residue with the amendments. Infrared analysis (IR) was performed to determine functional groups that were possibly involved in the stabilization of the PTE. The amendments V2, V3 and E1 stabilized the highest proportion of Pb (16%, 16% and 18%, respectively). Likewise, E1, E2 and E3 reduced Cu availability in a range from 14% to 18%. A decrease of availability in Zn was not observed with any of the amendments. In contrast, Cd was solubilized with all amendments. The IR analysis showed modification in phosphate and NH groups as well as aromatic groups linked to OH and NH from the amendments when mixed with the mine residue. These groups could interact with PTE and stabilize them. Based on the results obtained, the use of V and E is recommended. However, a longer incubation time is suggested to increase PTE stabilization.

Keywords: organic and inorganic amendments, soil contamination.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 4, abril. 2017. pp: 21-27.

Recibido: enero, 2017. **Aceptado:** marzo, 2017.

INTRODUCCIÓN

LOS residuos de mina poseen características que representan un obstáculo para el desarrollo de cubiertas vegetales y comunidades microbianas (Méndez y Maier, 2008). Estas son: bajo contenido de nutrientes esenciales (N, P y K) y materia orgánica, así como pH extremo (desde 2 hasta 9). Por ello, se han ideado estrategias para mejorar los procesos de fitoestabilización, como la adición de enmiendas, la cual es un medio eficaz para reducir la biodisponibilidad de los EPT, tanto en suelos contaminados como en residuos de mina (Kumpiene *et al.*, 2009). Incorporar la proporción adecuada de enmienda en suelos contaminados con EPT promueve la sorción, precipitación y secuestro de los EPT por complejación (EPA, 2007), lo que puede reducir la disponibilidad de estos elementos. Además, las enmiendas pueden mejorar las características físicas y químicas del suelo contaminado (Kumpiene *et al.*, 2012; González-Chávez *et al.*, 2016). Se ha reportado la efectividad de diversas enmiendas útiles para disminuir la disponibilidad de EPT. Muchos de estos estudios se han realizado en soluciones acuosas o situaciones idealizadas. Otros estudios han tenido resultados positivos en experimentos de campo. Sin embargo, dada la variabilidad en las propiedades de los residuos de mina y de los materiales que se adicionan, es necesario hacer estudios a nivel laboratorio e invernadero para probar la efectividad de las enmiendas sobre la estabilización de EPT. El objetivo del presente trabajo fue seleccionar una enmienda para reducir la disponibilidad de los elementos potencialmente tóxicos en un residuo de mina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización química del residuo de mina y enmiendas

El residuo de mina bajo estudio proviene de la denominada presa Santa María del distrito minero de Zimapán, Hidalgo. Como enmienda inorgánica se utilizó perlita expandida (PE) y para el caso de las orgánicas se empleó vermicompost (V) de desechos de jardín, cocinas y estiércol caballar, y estiércol (E) ovino fresco. Tanto enmiendas como el residuo de mina se secaron a temperatura ambiente durante tres días. Estos se homogenizaron y se tamizaron a 2 mm. En los materiales se determinó pH y conductividad eléctrica (CE; Rowell, 1994), materia orgánica (Dean 1974), concentración de N, S, P, Ca y Mg totales y sulfatos solubles (solo para el residuo de mina). La concentración extractable de EPT se determinó con DTPA-TEA-CaCl₂, con una relación soluto (residuo de mina o enmienda)/extractante de 4 g/20 mL

(Lindsay y Norvell, 1978). La concentración total de EPT se determinó mediante el método EPA 3050. La concentración de EPT se determinó por absorción atómica en un espectrómetro Perkin-Elmer 3110. Asimismo, se analizó la textura en el residuo de mina (Day, 1965). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Estabilización de EPT en mezclas de enmiendas y residuo de mina

Se realizaron mezclas de residuo de mina con las diferentes enmiendas bajo estudio. V y E se utilizaron como orgánicas. Estas se mezclaron con el residuo de mina en proporciones 5% (V1 o E1), 10% (V2 o E2) y 15% (V3 o E3), mientras que PE, que fue inorgánica, se mezcló con residuo de mina en relaciones masa/masa: 2% (PE1), 5% (PE2), 10% (PE3) y 20% (PE4). Las mezclas se depositaron en frascos de plástico y se les agregó 10 mL de agua destilada (correspondientes a 80% de la humedad de capacidad de campo del residuo de mina). Las muestras se incubaron por 30 días en oscuridad a temperatura ambiente y cada semana se homogenizaron. Posteriormente, siguieron tres períodos de secado y humedecimiento en invernadero (20 a 35 °C). Esto es, una vez que las muestras se secaron se procedió a humedecerlas a 80% de capacidad de campo. Después del último período de humedecimiento y secado (75 días), las muestras se homogenizaron y se determinó la concentración extractable de EPT.

Análisis por espectrofotometría infrarroja de grupos funcionales

A través de espectrofotometría infrarroja (IR) se obtuvo información de los grupos funcionales que pueden participar en la estabilización de EPT. Para ello, muestras de residuo de mina y de las mezclas estabilizadas con E y V se analizaron con base en su mayor capacidad para inmovilizar EPT. Las muestras se secaron y molieron hasta obtener partículas finas y se les realizó un barrido de 4,000 a 600 cm⁻¹ en un espectrofotómetro de IR de transformadas de Fourier. Los resultados obtenidos se analizaron mediante un modelo lineal generalizado con el paquete estadístico SAS versión 9.0. Asimismo, se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química del residuo de mina y enmiendas

El residuo de mina presentó textura franco arenosa (82% arena y 18% limo) y pH neutro (Cuadro 1), mientras que la

Cuadro 1. Propiedades químicas de residuo de mina y enmiendas.

Variable	Residuo de mina	Vermicompost	Estiércol ovino	Perlita expandida
pH	6.91±0.04	8.47±0.01	8.96±0.01	5.60±0.07
CE (dS m ⁻¹)	2.10±0.02	5.21±0.05	13.64±0.07	1.71±0.01
Materia orgánica (%)	0.58±0.13	57.67±0.29	22.17±0.27	NA
N total (%)	NA	0.96±0.04	2.20±0.08	NA
Ca total (%)	15.53±1.49	2.04±0.05	1.53±0.01	0.13±0.01
Mg total (%)	0.80±0.05	0.61±0.01	0.80±0.02	0.03±0.00
K total (%)	0.23±0.02	1.79±0.03	5.32±0.25	0.27±0.02
P total (%)	0.06±0.00	0.46±0.02	0.43±0.01	0.02±0.01
S total (%)	1.56±0.59	NA	NA	NA
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	516.53±24.88	NA	NA	NA

CE: Conductividad Eléctrica; N: No analizado.

PE tuvo pH moderadamente ácido, en contraste con V y E que mostraron pH fuertemente alcalino (NOM-021-SEMARNAT-2000). Con base en la CE, el residuo de mina y la PE no son afectados por sales. No obstante, la vermicompost se puede clasificar como moderadamente salina y el E como altamente salina. La CE de residuos de mina puede variar entre las fuentes de obtención debido a la adición de sales que se usan en el proceso de separación de metales (Farrokhpay, 2011). El porcentaje de materia orgánica del residuo fue extremadamente pobre. Varios estudios reportan que el bajo contenido de materia orgánica y macronutrientes son característicos de los residuos de mina (Mendez y Maier, 2008), debido a que es roca molida con sales y otros compuestos que se adicionan durante la concentración del mineral. El V tuvo el mayor porcentaje de materia orgánica seguido del E. El contenido de N total en V fue 0.96% y en E fue 2.20%. La aplicación de estos materiales puede servir como suplemento de N además de P, K, Ca y Mg. Por el

contrario, el residuo de mina presentó bajo contenido de P, K y Mg. La concentración de Cd, Pb y As en el residuo de mina superó las concentraciones totales de referencia para suelos con uso agrícola y residencial (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; Cuadro 2). Es decir, hay riesgo potencial para los asentamientos humanos cercanos a los montículos de residuos. También, hay riesgo para los ecosistemas y cuerpos de aguas naturales cercanos a los depósitos de los residuos de mina. En las enmiendas orgánicas, el elemento que se encontró en mayor concentración fue Fe seguido de Mn. En la PE, los elementos que se encontraron en mayor concentración fueron Fe y Pb. La extracción con DTPA-TEA-CaCl₂ representa una estimación de la concentración de EPT que se encuentran en la solución del suelo en forma de iones libres, complejos solubles, o bien, en formas fácilmente lábiles (Davidson, 2013). La concentración extractable de EPT en el residuo de mina tuvo la siguiente tendencia Zn>Pb>Fe>Cu>Mn>Cd>Ni (Cuadro 3). A pesar de que el Zn se encontró en mayor concentración que los otros elementos, la fracción móvil de éste (concentración de EPT extraída con DTPA como porcentaje del contenido total de EPT) fue 0.15%, mientras que la fracción móvil de Cd y Pb fue 3.64% y

Cuadro 2. Concentración total de elementos potencialmente tóxicos (mg kg⁻¹) en residuo de mina y enmiendas.

EPT	Residuo de mina	Vermicompost	Estiércol ovino	Perlita expandida	CT-A/R/C	CT-I
Fe	91,129±7396	935±11	965±123	2,575±221		
Mn	1,107±49	197±69	138±4	12±0		
Cu	1,480±90	36±1	8±1	1±1		
Zn	57,569±3161	72±4	94±3	12±1		
Ni	49±3	20±1	22±1	21±2	1,600	20,000
Cd	53±5	2±1	5±1	5±1	37	450
Pb	1748±215	33±9	28±2	65±17	400	800
As	30,075±6846	Tz	Tz	Tz		

EPT: elemento potencialmente tóxico; Tz=trazas.

CT-A/R/C: Referencia Mexicana para concentración total en suelos de uso agrícola/residencial/comercial (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).

CT-I: Referencia Mexicana para concentración total en suelos de uso industrial (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).

Cuadro 3. Concentración extractable con DTPA de elementos potencialmente tóxicos (mg kg⁻¹) en residuo de mina y enmiendas.

EPT	Residuo de mina	Vermicompost	Estiércol ovino	Perlita expandida
Fe	17.18±3.19	120.10±4.67	40.01±4.03	20.31±3.44
Mn	2.44±0.11	55.91±1.37	45.39±0.32	1.59±0.32
Cu	9.36±0.09	9.15±0.48	5.76±0.68	3.48±0.19
Zn	88.92±5.17	58.70±1.88	5.66±0.20	6.07±0.49
Ni	0.78±0.15	0.29±0.38	11.20±12.85	9.26±2.74
Cd	1.93±0.10	0.99±0.76	2.18±0.75	1.49±0.82
Pb	82.98±2.94	3.38±2.13	0.09±1.35	21.41±2.71

EPT: Elemento potencialmente tóxico.

4.74%, respectivamente, por lo que hay alta disponibilidad de estos elementos para las plantas. Por el contrario, la concentración extractable de EPT en todas las enmiendas es baja.

Concentración extractable de EPT en residuos de mina estabilizados con enmiendas

Plomo. Después de los tres períodos de humedecimiento y secado,

la mayor estabilización de Pb se observó en residuo de mina mezclado con E1, V2 y V3; en 17%, 16% y 18% Pb, respectivamente (Figura 1a). En contraste, la Pe incrementó la concentración extractable de Pb. Por otro lado, el tiempo de estabilización es relevante para permitir que ocurran las reacciones lentas entre la enmienda y el residuo de mina para la estabilización de los EPT (Martínez y Motto, 2000).

Cadmio. Ninguna de las enmiendas disminuyó la disponibilidad de Cd (Figura 1b). Los resultados obtenidos por la adición de E son contrastantes con los reportados por Galende *et al.* (2014), quienes encontraron que esta enmienda puede reducir la disponibilidad de Cd (extractable con CaCl₂) en un residuo de mina ácido. La nula respuesta a la adición de enmiendas orgánicas se puede atribuir a que el Cd se une débilmente a la materia orgánica (McBride, 1994). Los complejos de Cd con los ácidos húmicos son poco estables y reversibles. Estos se realizan a través de intercambio catiónico (Borůvka y Drábek, 2004) de la siguiente forma: RCOOH+M⁺⇌RCOOM+H⁺ (McBride, 1994). Cuando los ácidos húmicos de la materia orgánica interactúan con los EPT; las reacciones de intercambio dominan inicialmente y posteriormente prevalecen las re-

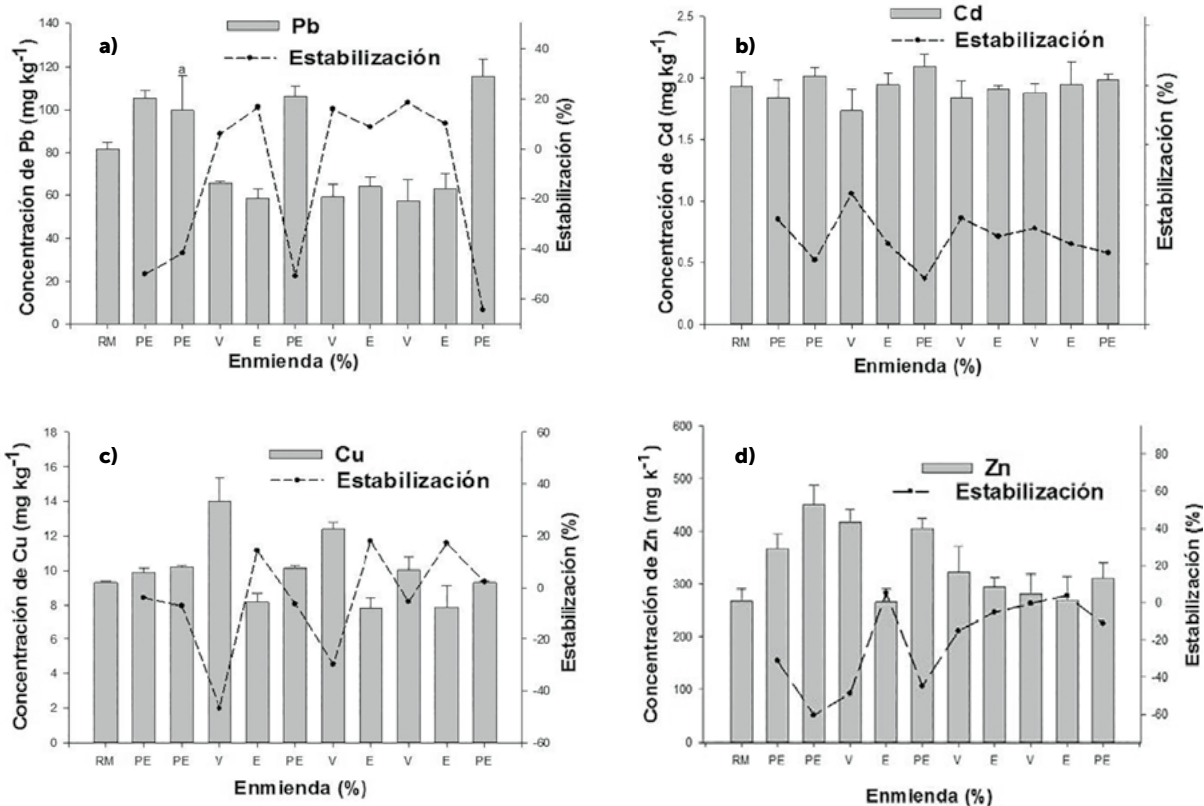


Figura 1. Efecto de enmiendas en la concentración y estabilización de EPT del residuo de mina (RM). PE=perlita expandida, V=vermicompost, E=estiércol fresco de borrego.

acciones de quelatación. Sin embargo, se ha reportado que después de periodos prolongados algunos cationes no reaccionan con los ligandos orgánicos debido a impedimentos estéricos o bloqueo de los sitios de reacción por otros (Rashid, 1985).

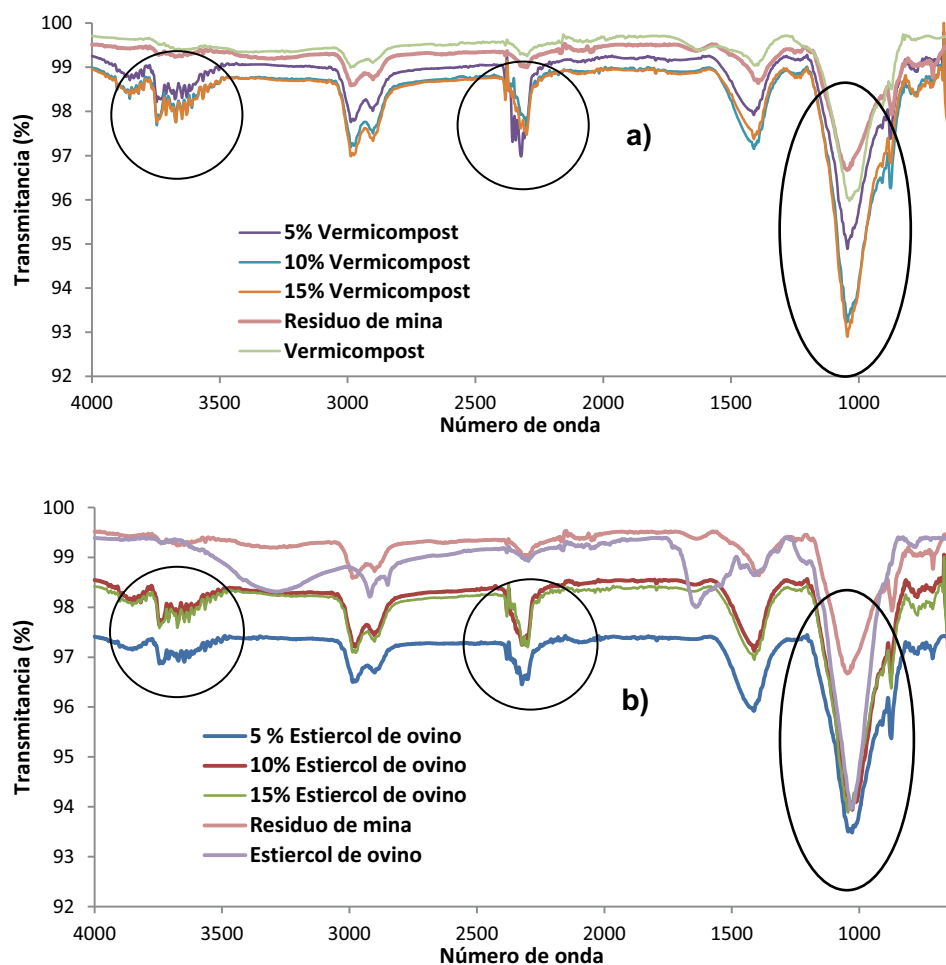
Cobre. La mayor inmovilización de Cu se observó con E (Figura 1c). Walker *et al.* (2004) encontraron que la adición de estiércol de vaca fue efectiva para reducir la fracción soluble e intercambiable de Cu, Zn y Mn en comparación con residuo de mina solo y el residuo con vermicompost. Se ha observado alta afinidad del Cu para formar complejos coordinados con las sustancias húmicas insolubles de la materia orgánica (Borůvka y Drábek, 2004). La adición de PE no modificó significativamente la concentración de Cu extractable con respecto al residuo de mina; sin embargo, la adición de V1 y V2 aumentó significativamente la concentración de este elemento, lo que implica disolución de minerales de Cu.

Zinc. Ninguna de las enmiendas orgánicas tuvo efecto significativo en la estabilización del Zn (Figura 3d).

(Borůvka y Drábek, 2004) reportaron que los grupos $-\text{COOH}$ y $-\text{OH}$ forman complejos de Zn menos estables que los que se forman con Pb y Cu. Esto se debe a que Cd y Zn unen a través de intercambio catiónico. Otros autores creen que el Zn forma complejos fuera de la esfera o complejos inestables dentro de la esfera (Minkina *et al.*, 2006). Además, las cargas positivas en su superficie ocasionan repulsión electrostática de los iones metálicos (Sari *et al.*, 2007).

Análisis por espectrofotometría infrarroja de grupos funcionales

Las enmiendas E y V tienen grupos funcionales tales como carboxílicos, hidroxílicos, fenólicos y aminos (Figura 2). Estos grupos tienen gran afinidad con los EPT (Rashid, 1985) y son responsables de las reacciones de quelación, intercambio catiónico y formación de sales entre la materia orgánica y los EPT (Rashid, 1985). La presencia de compuestos orgánicos puede ayudar a formar complejos de Pb de alto peso molecular poco solubles (Farrell y Jones, 2010); por ejemplo, se ha reportado la formación de complejos coordinados entre el Pb y sustancias húmicas insolubles (Borůvka y Drábek, 2004). En adición, la materia orgánica humificada contiene moléculas más reactivas que la materia orgánica poco descompuesta (Rashid, 1985). El análisis en IR (Figura 2a), de la mezcla residuo de mina con E, muestra la desaparición de la banda en $1,646\text{ cm}^{-1}$ (asignada a los compuestos anillados C-C) de la enmienda original. También se puede observar la ausencia de bandas en la región de $1,830$ a $1,650\text{ cm}^{-1}$. Esto quiere decir que no se encuentran grupos carbonilo presentes en la mezcla residuo



de la mezcla residuo de mina con E, muestra la desaparición de la banda en $1,646\text{ cm}^{-1}$ (asignada a los compuestos anillados C-C) de la enmienda original. También se puede observar la ausencia de bandas en la región de $1,830$ a $1,650\text{ cm}^{-1}$. Esto quiere decir que no se encuentran grupos carbonilo presentes en la mezcla residuo

Figura 2. Espectro infrarrojo de residuo de mina y las mezclas preparadas con enmiendas estabilizadas por tres ciclos de secado y humedecimiento (105 días). a) Estiércol ovino, b) vermicompost. En círculos se muestran los principales radicales involucrados en la interacción con los EPT.

de mina con E. Se ha encontrado que la reacción entre ácido aspártico y Cu hace desaparecer picos en 2,080 y 1,640, 1,690 y 1,420 cm^{-1} en el complejo metal-orgánico (correspondientes a grupos carboxil y NH). Dupuy y Douay (2001) observaron que al incrementar la concentración de Pb, el espectro en IR de la materia orgánica del suelo sufrió perturbaciones. Es decir, se incrementó la intensidad de las bandas en 1,670 y 1,690 cm^{-1} correspondientes a los grupos carboxílico y carboxilato, mientras que la banda en 1,710 cm^{-1} desapareció. Nuestros resultados muestran que en ambos espectros también se puede observar la formación de nuevas bandas en la región de 772 a 650 cm^{-1} , correspondiente a los compuestos aromáticos. Además, se aprecia la aparición de pequeñas bandas en el intervalo de 3,748 y 3,515 cm^{-1} , las cuales se generan por vibraciones de tensión de los enlaces O-H y N-H (Stuart, 2004; Stenberg *et al.*, 2010). Esto indica que se están formando algunos compuestos hidratados, o bien, los grupos OH pueden estar unidos a los compuestos aromáticos o aminas (Tan, 1998; Rajiv *et al.*, 2013).

Los espectros tanto de E como de V muestran aumento de las bandas características de las tensiones del enlace C-H de compuestos alifáticos (2,990; 2,986; 2,926; y 2,905 cm^{-1} ; Stuart, 2004; Stenberg *et al.*, 2010). Igualmente, los picos en 2,302, 2,383 y 2,352 cm^{-1} son producto de las vibraciones del enlace P-H. La aparición de estos picos surge del aporte de fosfatos por parte de las enmiendas. Además, las bandas en 1,415, 1,408, 880 y 875 cm^{-1} correspondientes al anión CO_3^{2-} también aumentan.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman que el uso de enmiendas orgánicas puede reducir la disponibilidad de EPT. Con base en dichos resultados es posible recomendar el V para la estabilización de Pb. Asimismo, se observa que es necesario más tiempo de incubación para que E estabilice una mayor concentración de Pb.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto CONACyT-PDCPN-2013-215241.

LITERATURA CITADA

- Boruvka L, Drabek O. 2004. Heavy metal distribution between fractions of humic substances in heavily polluted soils. *Plant, Soil and Environment* 50: 339-345.
- Davidson C.M. 2013. Methods for the determination of heavy metals and metalloids in soils. *In*: B.J. Alloway (ed.). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*, *Environmental Pollution* 22 (3rd ed.). Springer. Netherlands. pp. 98-140.
- Day P. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. *In*: Part 1 Black, C. A. (ed.) *Method of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 565-566.
- Dean W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* 44:242-248.
- Dupuy N., Douay F. 2001. Infrared and chemometrics study of the interaction between heavy metals and organic matter in soils. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 57: 1037-1047.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2007. The use of soil amendments for remediation, revitalization and reuse EPA 542-R-07-013. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Farrell M., Jones D. L. 2010. Use of compost in the remediation of heavy metal contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials* 175: 575-582.
- Farooqhpay S. 2011. The significance of froth stability in mineral flotation: A review. *Advances in Colloid and Interface Science* 166: 1-7.
- Galende M.A., Becerril J.M., Gómez-Sagasti M.T., Barrutia O., Epelde L., Garbisu C., Hernández A. 2014. Chemical stabilization of metal-contaminated mine soil: early short-term soil-amendment interactions and their effects on biological and chemical parameters. *Water Air and Soil Pollution* 225:1863.
- Kumpiene J., Guerri G., Landi L., Pietramellara G., Nannipieri P., Renella G. 2009. Microbial biomass, respiration and enzyme activities after in situ aided phytostabilization of a Pb and Cu contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72: 115-119.
- Kumpiene J., Fitts J.P., Mench M. 2012. Arsenic fractionation in mine spoils 10 years after aided phytostabilization. *Environmental Pollution* 166: 82-88.
- Lindsay W.L., Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA test from soil zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.
- Martínez C. E., Motto H.L. 2000. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. *Environmental Pollution* 107: 153-158.
- McBride B.M. 1994. *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press, New York. 397 p.
- Mendez M.O., Maier R.M. 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments an emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives* 116: 278-283.
- Minkina T.M., Motuzova G. V., Nazarenko O.G. 2006. Interaction of heavy metals with the organic matter of an ordinary chernozem. *Eurasian Soil Science* 39: 720-726.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico,

- bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
- Rajiv P., Rajeshwari S., Venckatesh R. 2013. Fourier transform-infrared spectroscopy and gas chromatography–mass spectroscopy: reliable techniques for analysis of Parthenium mediated. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 116: 642-645.
- Rashid M.A. 1985. *Geochemistry of marine humic compounds*. Springer Verlag, New York. 293 p.
- Rowell D.L. 1994. *Soil science. Methods and applications*. Logman Group. London UK. 350p.
- Sari A., Tuzen M., Citak D., Soylak M. 2007. Adsorption characteristics of Cu(II) and Pb(II) onto expanded perlite from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials* 148: 387-394.
- Stenberg B., Viscarra Rossel R.A., Mouazen A.M., Wetterlind J. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. pp. 163-215. *In: D. L. Sparks (ed.): Advances in Agronomy, Vol. 107*, Burlington: Academic Press.
- Stuart B. 2004. *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. Wiley. 242 p.
- Tan K.M. 1998. *Principles of soil chemistry (3rd ed)*. Marcel Dekker, New York. 495 p.
- Walker D.J., Clemente R., Bernal M.P. 2004. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. *Chemosphere* 57: 215-224.

