



Título del artículo.

Hiperacumulación inducida de oro, plata y metales pesados en *Brassica rapa* cultivada en desechos de mina.

Título del artículo en idioma Inglés.

Induced hyper-accumulation of gold, silver and heavy metals in *Brassica rapa* cultivated in mine waste.

Autores.

Lucía Delgadillo-Ruiz
Perla Ivonne Gallegos-Flores
Francisco Román-García
Josefina Huerta-García
Edgar León Esparza-Ibarra

Referencia bibliográfica:

MLA

Delgadillo-Ruiz, Lucía, Perla Ivonne Gallegos-Flores, Francisco Román-García, Josefina Huerta-García y Edgar León Esparza-Ibarra. "Hiperacumulación inducida de oro, plata y metales pesados en *Brassica rapa* cultivada en desechos de mina." *Tlamati* 5.4 (2014): 36-42. Print.

APA

Delgadillo-Ruiz, L., Gallegos-Flores, P. I., Román-García, F., Huerta-García, J. y Esparza-Ibarra, E. L. (2014). Hiperacumulación inducida de oro, plata y metales pesados en *Brassica rapa* cultivada en desechos de mina. *Tlamati*, 5(4), 36-42.

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 31 de Diciembre del 2014

© 2014 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAG. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Hiperacumulación inducida de oro, plata y metales pesados en *Brassica rapa* cultivada en desechos de mina.

Lucía Delgadillo-Ruiz¹
Perla Ivonne Gallegos-Flores¹
Francisco Román-García¹
Josefina Huerta-García¹
Edgar León Esparza-Ibarra^{1*}

¹Laboratorio de Biotecnología y Ciencias Ambientales. Unidad Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Av. Preparatoria s/n, Col Agronómica. Zacatecas, Zacatecas. C. P. 98066. Tel +52 (492) 92211326

*Autor de correspondencia
edgarzac@gmail.com

Resumen

Con el objetivo de inducir la hiperacumulación de metales pesados en plantas de la especie *Brassica rapa*, crecida en un sustrato de desecho de mina, varios tratamientos fueron aplicados. Tres agentes quelantes: ácido cítrico (C₆H₈O₇), tiocianato de amonio (NH₄SCN) y el ácido etil diaminotetraacético [EDTA] (C₁₀H₁₆N₂O₈), así como fertilizantes químicos, tales como: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); un fertilizante foliar y los elementos: hierro (Fe), manganeso (Mn), magnesio (Mg), cobre (Cu), calcio (Ca) y azufre (S) en ppm. Un sustrato proveniente de la presa de desechos de la mina, localizada en el municipio de Zacatecas, fue utilizado como medio de cultivo de las plantas. Los resultados de laboratorio mostraron que el sustrato es, predominantemente, de tipo franco-arenoso. Además, se pudo determinar que la aplicación de una combinación adecuada de fertilizante foliar de ácido cítrico y ácido ascórbico; así como nutrientes tales como N, P y K, pueden inducir incrementos importantes en los rendimientos de materia seca en la especie *B. rapa*. Aunque los resultados del análisis químico del tejido vegetal aún no han sido determinados en el laboratorio, los resultados preliminares en relación a las características físico-químicas, así como los rendimientos de materia seca registrados, sugieren que los desechos provenientes de la mina podrían ser disminuidos mediante el cultivo de la especie *B. rapa*, aplicando al sustrato de cultivo, los nutrientes y quelantes en proporciones adecuadas.

Palabras clave: Desechos de mina, fitorremediación y metales pesados.

Abstract

Several treatments were applied with the objective to induce heavy metal hyperaccumulation in *Brassica rapa* plants species, grown in a mine waste substrate. Three chelating agents: citric acid (C₆H₈O₇), ammonium thiocyanate (NH₄SCN) and EDTA (C₁₀H₁₆N₂O₈), well as chemical fertilizer: nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K); a foliar fertilizer and the elements iron (Fe), manganese (Mn), magnesium (Mg), copper (Cu), calcium (Ca) and sulfur (S) in ppm. A from substrate dam mine waste, located in the municipality of Zacatecas, was used as a medium of growing plants. Laboratory results showed that the substrate is predominantly of sandy loam type. Additionally, it was determined that the application of an appropriate combination of foliar fertilizer, citric acid and ascorbic; well as nutrients such as N, P and K, can induce significant increases in dry matter yields in the species *B. rapa*. Though the results

Como citar el artículo:

Delgadillo-Ruiz, L., Gallegos-Flores, P. I., Román-García, F., Huerta-García, J. y Esparza-Ibarra, E. L. (2014). Hiperacumulación inducida de oro, plata y metales pesados en *Brassica rapa* cultivada en desechos de mina. *Tlamati*, 5(4), 36-42.

of the chemical analysis of plant tissue have not yet been determined in the laboratory, preliminary results relation to the physico-chemical characteristics and dry matter yields recorded suggest that wastes from the mine could be decreased by culturing species *B. rapa*, applied to the growing medium and chelating nutrients in appropriate proportions.

Key words: Mine waste, phytoremediation, heavy metals.

Introducción

Según la definición de la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, las actividades de la minería generan gran cantidad de residuos conocidos comúnmente como jales de mina. El suelo, por lo tanto, experimenta un gran impacto y las consecuencias directas de esta contaminación son: a) ausencia inicial de vegetación, b) pérdida de su productividad, c) disminución de la biodiversidad e indirectamente d) la contaminación del aire y aguas superficiales y subterráneas (Becerril, Barrutia, García, Hernández, Olano y Garbisu, 2007). Entre las estrategias que se han empleado con éxito para extraer o inmovilizar a los metales pesados en los ecosistemas se encuentra la fitorremediación; la cual en suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas al suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener o disminuir la toxicidad de los contaminantes generados por las actividades de la minería (Chaney, Malik, Li, Brown, Angle y Baker, 1997).

La clave para el éxito de la aplicación de estas tecnologías se basa en un fenómeno denominado hiperacumulación de metales, definido como la capacidad que tienen algunas especies de plantas para concentrar metales en sus tejidos, sin presentar síntomas de toxicidad en niveles superiores a los que registran otras especies que crecen en el mismo ambiente (Llugany, Tolrà, Poschnrieder y Barceló, 2007). Este término fue retomado por científicos de la Universidad de Massey en la década de los 70's (Brooks, Lee, Reeves y Jaffre, 1977). Esta fitotecnología empleada para descontaminar los suelos reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía, ya que no utilizan reactivos químicos peligrosos ni afectan negativamente a la estructura del suelo, porque sólo aplican prácticas agrícolas comunes. Además, el proceso se realiza *in situ*, evitando costos por el transporte del material contaminado a otros lugares (Cunningham, Berti y Huang, 1995). Sin embargo, las condiciones adversas que a menudo privan en los sustratos de desecho producto de la actividad minera, inhiben el crecimiento y desarrollo de especies vegetales debido a la presencia de altas concentraciones de metales pesados que resultan tóxicos para las plantas. Baker y Walter (1990) han propuesto que las plantas tienen diferentes respuestas al estrés de metales pesados y que algunas especies pueden extraerlos, acumularlos o sólo indicar su presencia. Para ello, la planta utiliza un mecanismo de complejación en el interior de la célula para desintoxicar uniendo a los metales pesados con los ligandos para formar complejos.

Con el propósito de hiperacumular algunos metales pesados, se han utilizado desde hace tiempo especies como *Brassica júncea*, *Brassica nigra* y *B. rapa*, las cuales han mostrado capacidad para hiperacumular zinc (Zn), plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd) y cobre (Cu).

Bajo ciertas condiciones, la aplicación de agentes quelantes tales como el EDTA, tiocianato de amonio y ácido cítrico a sustratos de desechos producto de la actividad minera, pueden inducir la hiperacumulación de oro (Au), plata (Ag) y metales pesados tóxicos (Hg, As, Cu, Pb y Zn) en plantas de la especie *B. rapa* (mostacilla). El objetivo del presente trabajo fue determinar la hiperacumulación de Au, Ag y metales pesados tóxicos en plantas de mostacilla cultivadas en desechos de mina adicionando una solución nutritiva con fertilizantes foliares y agentes quelantes como el tiocianato de amonio (NH₄SCN), EDTA (C₁₀H₁₆N₂O₈·2H₂O) y ácido cítrico (C₆H₈O₇·H₂O) para evaluar su comportamiento como agentes inductores.

Materiales y métodos

Las muestras de desechos fueron obtenidas de la zona de jales de la mina El Bote, localizada en el estado de Zatecas, coordenadas 22°46'35" N y 102°26'21" W (véase figura 1).

El tipo de muestreo fue sistemático y se basó en un modelo geométrico específico donde las muestras fueron tomadas a intervalos regulares a lo largo de ese patrón. Esta estrategia fue útil para cubrir en forma fácil y uniforme un sitio de forma que toda la población esté representada. El primer muestreo se realizó aleatoriamente y el resto de acuerdo al patrón asignado asegurando que la población de muestras esté representada en forma total y uniforme, siendo este procedimiento, el ideal para obtener volúmenes de material contaminado de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006. Las muestras fueron obtenidas a profundidades de 0 a 30, de 31 a 60 y de 61 a 100 cm y éstas fueron clasificadas, empaquetadas, almacenadas y, finalmente, preparadas para ser caracterizadas físico-químicamente en el laboratorio.

Para almacenar las muestras se utilizó material de polietileno donde además se evitaron factores como la luz, el calor, la humedad y otros factores que puedan cambiar su naturaleza. También se registró el nombre, ubicación y profundidad de la muestra. Posteriormente, se secaron en charolas de aluminio para facilitar el manejo de las muestras y mejorar la homogenización disminuyendo los cambios químicos indeseables. Se secaron en un horno a una temperatura no mayor a 35° C.

Las concentraciones de Au, Ag, Pb, Hg, As, Cu y Zn fueron determinadas mediante Fluorescencia de rayos X. Para la precisión del análisis se requirió disponer de estándares para la calibración que se aproximen lo más posible a las muestras tanto en composición química como física y métodos adecuados para considerar los efectos de la matriz. Este método tiene limitada sensibilidad en la detección de los elementos menores de número atómico 14 y existen cierta limitación a este carácter no destructivo, ya que ciertos materiales pueden deteriorarse cuando son sometidos durante largos periodos a una intensa radiación con rayos X (Martínez, Novoa y Barón, 2006).

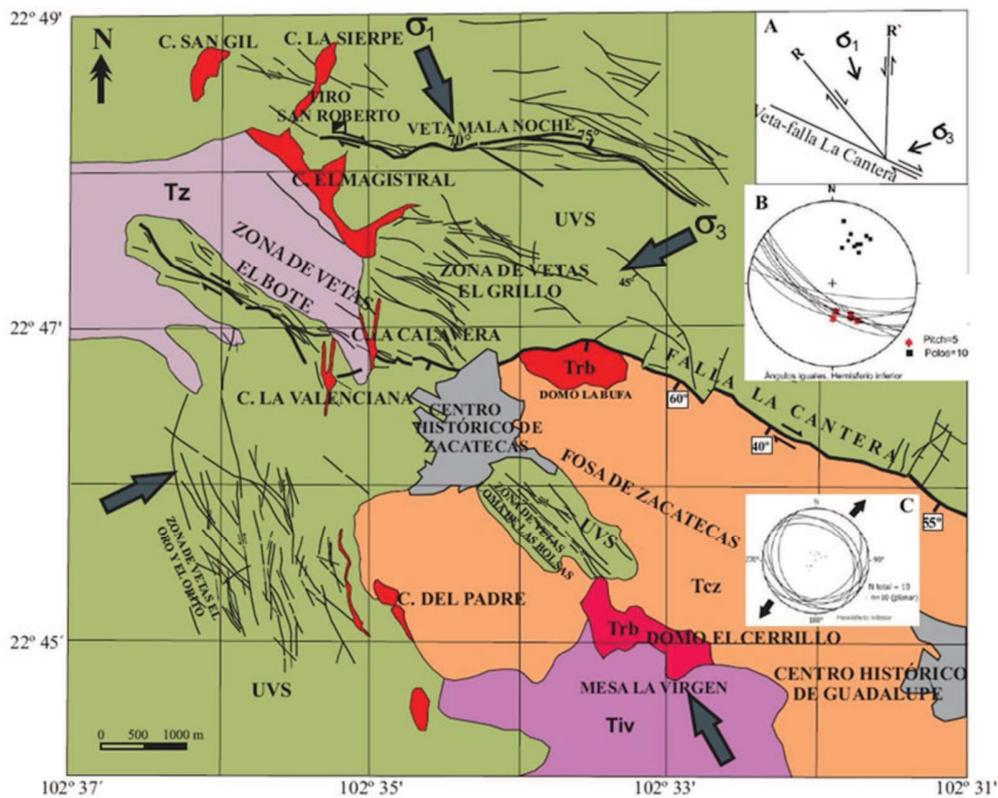


Figura 1. Localización de la mina el Bote .

Las semillas de *B. rapa* fueron sembradas y germinadas a una profundidad de 1 cm en charolas plásticas bajo condiciones de invernadero. La germinación se dio cuatro días después de la siembra y la plántula se trasplanto tres semanas después de la siembra en recipientes previamente preparados con las mezclas de sustratos que contenían 2 kg de jales y 1.6 L de solución nutritiva. Después del trasplante, el sistema de riego fue programado para trabajar en forma automatizada sobre el cultivo. Para la preparación de la solución nutritiva se diluyeron 20 L de biofertilizante líquido ("bio"), 400 g de tres diferentes fertilizantes foliares: T2- Bocashi, T3 - Lombricomposta y T4 - solución nutritiva y 1.8 L de agua. Dos semanas después de concluir las aplicaciones de la solución nutritiva, se realizó la aplicación de los agentes quelantes, los cuales se diluyeron en un recipiente con cuatro litros de agua cada uno. El tiocianato de amonio, EDTA y ácido cítrico se aplicaron en dosis de 1 g por kg de sustrato en cada tratamiento. Para el caso de la aplicación de los tres, las diferentes dosis se concentraron en 100 ml de agua para cada uno, la cual se llevó a cabo al final del ciclo vegetativo de la mostacilla (*B. rapa*), empleando la misma dosis para todas las plantas a las que se les aplicó. Por lo que los tratamientos quedaron de la siguiente manera: tratamiento 1 (T1: control) 100 ml agua; tratamiento 2 (T2: NH_4SCN) 100 ml de tiocianato de amonio; tratamiento 3 (T3: EDTA) 100 ml ácido etilendiaminotetraacético; tratamiento 4 (T4: $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 100 ml ácido cítrico. Por último, se determinó el pH, textura y conductividad eléctrica (CE), de acuerdo a lo especificado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Resultados

En la figura 1 se muestra que los jales de la mina El Bote se encuentran ubicados en el sureste de la ciudad de Zacatecas, en colindancia con otras minas aledañas. Las muestras de jales son franco-arenosas y los resultados físico-químicos mostraron las condiciones generales bajo las cuales se encuentran los residuos de esta mina. En la tabla 1 se muestran los resultados de las características físico-químicas (pH, textura y conductividad eléctrica) de los desechos de la mina el Bote. La figura 2 muestra que la morfología de las plantas control de *B. rapa* cultivadas en los jales alcanzaron un 50 % más de altura, una área foliar más abundante y produjeron floración al termino del estudio; con respecto a la morfología de las plantas que fueron sometidas a los tratamientos con agentes quelantes, éstas presentaron disminución en su crecimiento (véase figura 3). En la figura 4 se muestra la concentración media de oro (143.9 ppm) y plata (13.5 ppm) de los desechos de la mina así como de otros contaminantes como el mercurio (218 ppm) y el arsénico (249.1 ppm). La producción de materia seca (MS) en el tratamiento 1 presentó menor concentración de biomasa seca de la planta (2.2 gr), mientras que los tratamientos 2, 3 y 4, presentaron un aumento en los valores de 17.12, 22.32 y 26.30 gr respectivamente, esto debido a la adición de fertilizantes químicos (N, P, K, Ca y S) y solución nutritiva ("bio"). Los resultados que se muestran en la tabla 2 señalan la producción de biomasa en los tratamientos con base en el diseño experimental. La hiperacumulación de los metales en las plantas del tratamiento 1



Figura 2. Morfología de las plantas control de *B. rapa*

presento en Au 71.95 ppm, Ag 5.88 ppm, Hg 68.79 ppm, As 108.23 ppm, Cu 20 ppm, Pb 260 ppm y Zn 100 ppm, observando que el T2 presenta menor hiperacumulación con respecto a los anteriores siendo Zn con 70 ppm quien estuvo más cerca a los valores del T1, para el T3 y T4 el metal con mayor concentración fue Hg 54.10 ppm y 50.76 respectivamente (véase tabla 3).

Discusión y conclusiones

Los resultados físico-químicos de los residuos de la mina dieron un suelo ácido (pH con un valor promedio de 4.86 +/- 0.045) lo cual mostró que entre más bajo fue el pH, mayor fue el incremento de la conductividad eléctrica (véase tabla 1) y de la concentración de metales presentes (véase tabla 3).

Respecto a la concentración de oro, plata y metales pesados, se encontró que la cantidad media de oro (véase la figura 4) en los desechos es elevada [142.84 ppm (mg/kg)], permitiendo que en la planta control o testigo hubiera

Tabla 1. Características físico-químicas de los desechos de la mina el Bote

Característica	Valor
pH	4.86
Textura	Arenosa
Arena (%)	75.04
Arcilla (%)	3.32
Limo (%)	21.63
Materia Orgánica (%)	0.38
CE	5.08
PO ₄	1.14

Tabla 2. Biomasa de las plantas en los diferentes tratamientos

Tratamientos	Promedio de los pesos (g)
T1 Testigo	2.2
T2	17.125
T3	22.325
T4	26.3
Total	67.95

una marcada diferencia en la hiperacumulación inducida de este metal (véase la tabla 3) por parte de las plantas de esta especie [71.954 ppm (mg/kg)]. Esto debido a que este tratamiento se estableció exclusivamente en jal y no se mezcló ningún sustrato para simular suelos contaminados como lo fueron en los demás tratamientos (T2, T3 y T4), por lo que la disponibilidad de Au en 100% de jal fue superior al resto de los demás. Estos resultados demuestran que la hiperacumulación media de Au en las plantas testigo (jal) de *B. rapa*, es superior a la obtenida por Anderson, Moreno y Meech (1998), donde se empleó *B. juncea* y se obtuvieron concentraciones superiores de 57 mg/kg de tejido en las hojas de esta especie. Cabe mencionar que es factible volver a re-extraer el Au del sustrato desde el punto de vista económico, debido a la cantidad presente en él. Para el caso de la plata, las concentraciones medias en los residuos de mina fueron muy bajas, 10.975 ppm (mg/kg) respecto al resto de los elementos (véase la figura 4), y la cantidad de este metal en los desechos incidió en la absorción (véase la tabla 3); siendo el testigo (T1) el que hiperacumuló la mayor cantidad de plata, 5.889 ppm (mg/kg) y que mostró significancia en comparación a los demás tratamientos (T2, T3 y T4). Tomando en cuenta los estudios de



Figura 3. Efecto producido en la morfología de las plantas de *B. rapa*, por la aplicación de los tratamientos

Anderson et al. (2005) que indican que entre el 10 y el 20% de la presencia de oro y otros metales valiosos, como la plata y el platino en los residuos, pueden ser extraídos por el cultivo; y esto es bueno para el caso de que algún metal pueda volverse a re-extraer.

Por otro lado, las concentraciones medias de: Hg, As, Cu, Pb y Zn encontradas en el sustrato (véase la figura 4), registraron cantidades asimiladas muy significativas en el testigo, comparado con los tres restantes tratamientos (véase la tabla 3), por lo que se afirma que se logró hiperacumular cantidades considerables de metales pesados tóxicos. Sobre todo el arsénico, que ocupa el lugar número 20 entre los elementos más abundantes de la corteza terrestre y está ampliamente distribuido en rocas y suelos, en las fuentes de agua natural y en pequeñas cantidades en todos los seres vivos (Wang y Mulligan, 2006). El arsénico está clasificado dentro del Grupo 1 de la lista de sustancias de interés prioritario que publica el ministerio de salud de Canadá debido a su carácter venenoso y porque es una causa del desarrollo de cáncer en los humanos (Health Canadá,

2006). Actualmente se utilizan varias tecnologías para atrapar y eliminar el arsénico de las pilas de fundición y de los relaves (colas) de las minas. Para controlar de forma efectiva la contaminación del aire en las fundiciones, se pueden usar limpiadores, colectores electrostáticos y filtros de bolsa que son capaces de eliminar hasta el 99.7% del polvo y humo producidos durante el proceso de tostación y fundición (Vallero, 2007). Para el tratamiento de relaves de las minas y aguas residuales, se pueden utilizar compuestos de hierro que reaccionan con el arsénico y lo extraen del agua (Straskraba y Moran, 1990). Es posible, también, filtrar el arsénico de las aguas residuales y relaves con óxidos de hierro, revestimientos de arcilla y filtros de carbón activado, que podrán eliminarse de forma segura. También se está estudiando el uso de plantas, humedales y nanopartículas de hierro para eliminar el arsénico de áreas contaminadas (Straskraba y Moran, 1990).

De acuerdo a lo que señala Chen, Christie, y Li. (2001), la planta de mostacilla (*B. rapa*), absorbió cantidades importantes de As, Pb, Hg, Cu y Zn; considerándola una es-

Tabla 3. Concentración promedio hiperacumuladas de los metales pesados

Tratamientos	Au (ppm)	Ag (ppm)	Hg (ppm)	As (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
T1 Testigo	71.95	5.89	68.74	108.23	20	260	100
T2	23.11	2.84	44.40	52.34	10	50	70
T3	24.34	2.10	54.10	53.11	10	35	40
T4	24.50	2.70	50.76	35.52	10	10	40

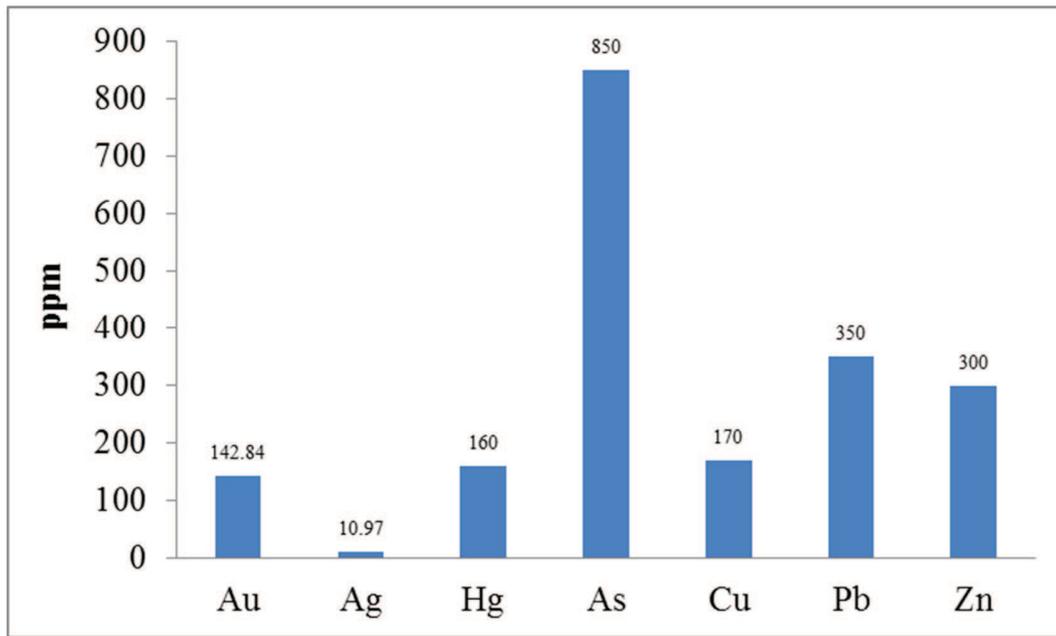


Figura 4. Concentración media de metales en los jales de la mina el Bote.

pecie hiperacumuladora. Para el presente estudio encontramos que las concentraciones de Hg, As, Pb, Cu y Zn, presentes en los desechos de mina, registraron valores en un rango de entre 149.51 a 895.51 mg/kg (véase la figura 4) y que las plantas de *B. rapa* acumularon cantidades importantes de algunos metales (71 ppm para Au y 108 ppm de As). No obstante que fueron adicionados quelantes, éstos no tuvieron efecto alguno para inducir la acumulación de los metales, solo con la solución nutritiva. Sin embargo, respecto a lo que establece Robinson, Lombi y Zhao (2003), que debido a que las concentraciones no superaron el 0.1% (1,000 ppm), no puede ser considerada como una especie con potencial hiperacumulador.

Agradecimientos.

Este trabajo se realizó gracias al apoyo económico del proyecto de la UAZ con número de registro: 127/2013.

Referencias.

- Anderson C. W. N., Brooks R. R., Stewart R. B. y Simcock R. (1998). Gold uptake by plants. *Gold bulletin*, 32, 48-51.
- Anderson C., Moreno, F. y Meech, J. (2005). Una demostración de campo de la tecnología de fitoextracción de oro. *Minerals Engineering*, 18, 385-392.
- Becerril J. M., Barrutia O., García J. I., Hernández A., Olano J. M. y Garbisu C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: Aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16(2), 1-6.
- Baker J. M. A. y Walter D. P. L. (1990). Metal uptake and accumulation. En Shaw AI (Ed.) *Heavy Metals Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. 156-174. CRC. Boca Raton, FL, USA.
- Brooks, R. R., Lee, J., Reeves, R. D. y Jaffre, T. (1977). Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium

specimens of indicators plants. *Journal of Geochemical Exploration*, 7, 49-57.

- Canada Health (Junio 1, 2014). *Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline technical document – Arsenic*. Obtenido de <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/arsenic/index-eng.php>.
- Chaney, R. L, Malik, M., Li, Y. M., Brown, S. L., Angle J. S. y Baker. A. J. M. (1997). Phytoremediation of soil metals. *Current Opinions in Biotechnology*, 8, 279-284.
- Chen, B., Christie, P. y Li, L. (2001). A Modified Glass Bead Compartment cultivation System for Studies on Nutrient and Trace Metal Uptake by Arbuscular Mycorrhiza. *Chemosphere* 42, 185-192.
- Cunningham, S. D., Berti W. R., y Huang, J. W. (1995). Phytoremediation of contaminated soils. *Trends Biotechnology*, 13, 393-397.
- Llugany M., Tolrà R., Poschnrieder C. y Barceló J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas*, 16, 4-9.
- Martínez B. D., Novoa O. D. y Barón G. A. J. (2006). Espectrometría de fluorescencia de rayos X. *Revista Colombiana de Física*, 38(2), 790-793.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006. (2006). *Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra*. Diario Oficial de la Federación. MX
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. (2004). *Establecimiento de criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por Arsénico, berilio, Cadmio, Cromo hexavalente, mercurio, Níquel, plomo, Selenio, Talio y Vanadio*. Diario Oficial de la Federación. MX.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. (2000). *Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación. MX:
- Robinson, B. H., Lombi, E., Zhao, F. J., y McGrath, S. P.

- (2003). Uptake and Distribution of Nickel and other Metals in the Hyperaccumulator *Berkheya Coddii*. *New Phytologist*, 158, 279–285.
- Straskraba V. y Moran R. E. (1990). Environmental Occurrence and Impacts of Arsenic at Gold Mining Sites in the Western United States. *International Journal of Mine Water*, 9(1-4), 11.
- Vallero, D. A. (2007). *Fundamentals of Air Pollution*. Amsterdam: Elsevier.
- Wang, S. y Mulligan C. N. (2006). Occurrence of Arsenic Contamination in Canada: Sources, Behavior and Distribution. *Science of The Total Environment*, 366(2–3), 701–721.