



V CONGRESO INTERNACIONAL
Y
XI NACIONAL DE CIENCIAS
AMBIENTALES



V CONGRESO INTERNACIONAL Y EL XI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES: MEMORIAS

Enrique SÁNCHEZ-SALINAS y Ma. Laura ORTIZ-HERNÁNDEZ
(Coordinadores)

Primera Edición, junio del 2006

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

ISBN 968-878-265-3

Diseño gráfico: Elsa Judith CORTÉS-ORTIZ
Diseño multimedia: Elsa Judith CORTÉS-ORTIZ y Evodio CURIEL-MIRANDA.

Edición: Enrique SÁNCHEZ-SALINAS, Ma. Laura ORTIZ-HERNÁNDEZ, Benedicta MACEDO-ABARCA y Ma. Luisa CASTREJON-GODINEZ

Nota: La presente publicación incluye documentos escritos *in extenso*, cuyo contenido es responsabilidad exclusiva de los autores.

Hecho en México

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL POR PLOMO EN SUELO PROVOCADO POR UNA EMPRESA MINERA EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA

Manuel SOSA¹, Myriam MORENO^{1y2}, Brunilde REYES¹, Soraya PUGA¹ Rey
Manuel QUINTANA¹

Facultad de Zootecnia, Universidad Autonoma de Chihuahua (UACH)¹. Periférico
R. Almada km 1 Chihuahua, México. msosac@uach.mx

Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)². Miguel de Cervantes
No. 120, Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31109. Chihuahua, México. Correo
electrónico: miriam.moreno@cinav.edu.mx

RESUMEN

La contaminación del suelo es una pérdida de este recurso, además los contaminantes constituyen un riesgo para el medio ambiente y la salud de las personas. Uno de los elementos de mayor emisión por la industria minera es el plomo, el cual es muy tóxico para los organismos vivos. El objetivo del estudio fue evaluar el nivel de contaminación por plomo en los desechos de una empresa minera fuera de servicio, en áreas aledañas a las instalaciones. El estudio se realizó en la zona sur de la ciudad de Chihuahua, En la presa de jales, se tomaron tres muestras, a las que se les realizó análisis químico cualitativo por espectrometría de emisión por plasma y por espectrofotometría de absorción atómica. Se tomaron 28 muestras en zonas con población y recreativas aledañas a la compañía minera para evaluar Pb. La muestra de suelo se tomó de 0 a 5 cm de profundidad. El Pb total se obtuvo por el método de digestión por microondas y se determinó por espectrofotometría de absorción atómica. Para el análisis de plomo lixiviable se siguió la metodología de la Norma Oficial Mexicana. Los resultados se analizan de acuerdo a las normas internacionales. Se generaron gráficas de calidad ambiental de Batelle. En la presa de jales se encontraron 21 elementos, destacando el Fe, el Zn, el Pb y el Al. El análisis de Pb total muestra niveles muy altos en algunos puntos de muestreo cercanos a la fuente de contaminación. La evaluación de impacto ambiental señala que entre el 40% y el 78.6% de los puntos muestreados sobrepasan algunas normas. El Pb lixiviable solo 4 en puntos de muestreo rebasan la normatividad con valores superiores a 5 ppm. Los jales depositados en la zona sur de la ciudad de Chihuahua, son un foco de contaminación muy peligroso.

INTRODUCCIÓN

El suelo era considerado como un medio con capacidad prácticamente ilimitada para almacenar y ser depósito último de residuos contaminantes sin originar efectos nocivos, al menos inmediatos (IGME 1996). Un suelo contaminado puede definirse como aquel donde se encuentran presentes uno o más materiales peligrosos y/o residuos de toda índole y que pueden constituir un riesgo para el ambiente y la salud (Saval 1999).

La contaminación de suelos, como término, puede tener diferentes connotaciones e interpretaciones en la relación sociedad-naturaleza, en vista de que las fuentes antropogénicas de los contaminantes han afectado virtualmente a todos los ecosistemas del mundo, provocando ciertas alteraciones en los procesos naturales (Adriano 1997).

Los procesos químicos y físicos naturales, como la alteración por exposición a la intemperie, escurrimientos y precipitaciones hacen que el plomo se esté transfiriendo constantemente entre el aire, el agua y el suelo (ATSDR 1993).

Por lo general el plomo se deposita, a una profundidad de 2 a 5 cm. de la superficie (USEPA 1986). Aunque en parte ese plomo depositado podría haberse originado en fuentes fijas a muchos kilómetros de distancia. Como resultado de los escurrimientos, los suelos contaminados pueden contribuir a contaminar cualquier sedimento cercano (Case *et al.* 1989).

El problema de contaminación de suelos es prácticamente en todo el mundo, en Europa Prokop *et al.* (2000) señala alrededor de 1.5 millones de km² de suelos potencialmente contaminados, producto del desarrollo industrial y que la mayoría están rodeados de centros urbanos. Muchos de los terrenos identificados y clasificados como potencialmente contaminados son originados por la industria minera, tal es el caso que nos ocupa.

La contaminación de un suelo supone en si misma, una pérdida de un recurso natural, pero además los contaminantes pueden alcanzar determinados receptores produciendo efectos negativos en los mismos. De este modo surge el concepto de riesgo probabilidad de que un determinado fenómeno adverso ocurra, entonces, lo que se valora es la probabilidad de que la contaminación de un suelo produzca efectos en determinados receptores como son la salud humana y el medio ambiente (IGME 1996)

La valoración de riesgos ambientales y su posible impacto ambiental ha sido uno de los pilares sobre los que se ha hecho descansar la investigación y gestión de suelos contaminados. El modelo de valoración de riesgos fue propuesto por la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU. (National Academy of Sciences, 1983) y posteriormente adaptado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. para suelos contaminados (USEPA, 1989). Más tarde, este mismo modelo es el que se ha impuesto como estándar también en la Unión Europea. El riesgo ambiental asociado a la contaminación de suelos se valora a partir de la concurrencia de tres factores: la concentración de contaminantes en el suelo, la exposición a la contaminación por diferentes vías y la toxicidad de las sustancias.

Los suelos no contaminados tienen concentraciones de Pb inferiores a 50 ppm los que sí están contaminados en muchas áreas urbanas, exceden las 200 ppm, mientras que zonas próximas a las minas de plomo, a las industrias que emplean este metal y a las fundiciones, pueden tener niveles de contaminación del suelo superiores de 60 000 ppm (Nriagu 1979).

El plomo también puede contaminar los alimentos; el metal que se encuentra en la atmósfera puede caer en la tierra, es absorbido a través de las raíces de los vegetales y contamina a los mismos. (Mushak *et al.* 1989).

El plomo se absorbe por ingestión o por inhalación. La relación entre la exposición y los niveles de plomo sanguíneo constituye un proceso dinámico en el cual el plomo que se encuentra en la sangre representa el producto de exposiciones recientes, excreción y equilibrio con otros tejidos. Los niños que tienen deficiencias de hierro, proteínas, calcio y/o zinc, absorben con mayor facilidad el plomo, cuya mayoría se almacena en los huesos (Mahaffey, 1982). Esto puede originar problemas en la salud, al respecto García *et al.* (1999), señala problemas graves de plomo en sangre en niños que asisten a escuelas cercanas a una fundidora.

Los procesos de extracción y beneficio minero tienen varias facetas una de ellas es la fundición (Salager 1992), pero todas dejan desechos mineros llamados colas o jales que pueden contener una cantidad importante de elementos químicos que si no son tratados adecuadamente se convierten en un foco de contaminación 2

(Sánchez 1995).

Los menores impactos ambientales entre las actividades mineras, se observan en los procesos de flotación simple con un agente espumante; sin embargo, el impacto aumenta a medida que se incrementa el uso de reactivos para favorecer la flotación, y es mucho mayor en los procesos de lixiviación y fundición (Csuros y Csuros 2002). En base a lo señalado el objetivo de este estudio fue analizar el impacto ambiental que se ha generado producto de los desechos de una fundidora de la industria minera, específicamente el Pb sobre el suelo en áreas urbanas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la colonia Ávalos, en el sur de la ciudad de Chihuahua, Chih. México, lugar donde desde principios del siglo pasado se encontraba una industria minera dedicada a la fundición de metales.

Se tomaron 3 muestras del material de desecho de la compañía minera y 28 muestras de suelo de 0 a 5 cm de profundidad, seleccionando las zonas con mayor población en el área de influencia de los desechos mineros, a una distancia hasta de 1.5 km de distancia de la fuente de contaminación.

El material se mezcló perfectamente, se molió hasta una malla No. 100 de 150 μ m de abertura según la escala de tamises standard Tyler y se homogenizó utilizando el método del cuarteo hasta tener 100 g de muestra. Las muestras para cuantificar Pb total se procesaron según el método de digestión por microondas EPA N° 3051, en el cual se pesa alrededor de 0,5 g de muestra y se adiciona 10 mL de HNO₃ y se colocó en la parrilla de calentamiento a una temperatura de 60°C hasta su digestión total, después de la digestión de la muestra, se filtra con papel filtro whatman No. 2 y se afora a 100 mL en matraz volumétrico.

A una muestra de los desechos mineros se les realizó un análisis químico cualitativo por espectrometría de emisión por plasma, cuantificando posteriormente los elementos encontrados por esta misma técnica y también por espectrofotometría de absorción atómica, con generador de hidruros y gravimetría, según el elemento a determinar. A las otras dos muestras de jales y al resto de las 28 muestras se analizó Pb total por espectrofotometría de absorción atómica. Para el análisis de plomo lixiviable se siguió la metodología de la Norma Oficial Mexicana, NMX-AA-051-SCFI-2001: *Análisis de Agua – Determinación de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba*. Antes de desarrollar esta metodología fue necesario preparar la muestra de suelo bajo los estatutos de la Norma Oficial Mexicana, NOM-053-ECOL-1993, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Los impactos ambientales en relación al Pb total se determinaron tomando como base la Canadian Council of Ministers of the Environmental (CCME 1999) y la Environmental Protection Agency (EPA – USA 2001) y el Pb lixiviable se evaluó de acuerdo a la NOM-052-ECOL-93. Para definir el nivel de impacto ambiental se utilizó el método de clasificación propuesto por Sosa (2001) considerando impactos leve (IL), cuando hay presencia del contaminante, impacto moderado (IM) si el contaminante rebasa el 50% del límite recomendado o permisible e impacto significativo (IS) cuando se rebasaron los límites recomendados o permisibles y no impacto (NI) si el contaminante no estuvo presente. Así mismo, se elaboraron curvas de calidad ambiental de acuerdo al método de Batelle (1972) para determinar que calidad ambiental se encuentra en la zona de estudio y analizar su impacto ambiental.

RESULTADOS

Los resultados del análisis de la muestra de los desechos mineros para conocer el total de elementos que contienen estos jales los cuales se muestran en la **Tabla I**. Se determinaron un total de 21 elementos, sobresaliendo el Fe con 228 622 ppm, el Ca con 97 659 ppm y el Zn con 66 075 ppm, por lo que respecta al Pb su concentración fue de 11518 ppm, estas cantidades y el gran número de elementos encontrados nos indican el nivel de riesgo de estos desechos, en este estudio tomamos al plomo por su nivel de peligrosidad, principalmente para la salud de la gente, tomando en cuenta que se trata de una zona urbana, incluso que cuenta con áreas deportivas, las más tradicionales en la ciudad.

Tabla I: ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO A LA MUESTRA 1 DE JALES.

Al ppm ¹	As ppm ^{2.1}	Ba ppm ¹	Ca ppm ¹	Cd ppm ¹	Co ppm ¹
21 231	222	1 307	97 659	26	254
Cr ppm ¹	Cu ppm ¹	Fe ppm ²	Hg ppm ^{2.1}	K ppm ²	Mn ppm ¹
329	2 750	228 622	99	3 322	5 917
Mo ppm ¹	Na ppm ²	Ni ppm ¹	Pb ppm ¹	Ti ppm ¹	Zn ppm ¹
192	3 120	2	11 518	990	66 075
Zr ppm ¹	Si O ₂ % ³	S % ³			
2 669	24	1			

¹Espectrometría de emisión por plasma

²Espectrofotometría de absorción atómica

^{2.1}Espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros

³Gravimetría

A las restantes dos muestras de los desechos mineros, se les analizó Pb total y Pb lixiviable, los resultados se muestran en la **Tabla II**, la muestra 2 del jal tiene una concentración de Pb total similar a la muestra 1, mientras que la muestra 3 presenta solo la mitad de concentración de Pb, cantidades todas demasiado altas y que además por el tiempo (100 años) que han estado en esa zona representan un riesgo para ese ecosistema. Por lo que respecta al Pb lixiviable, este afortunadamente fue bajo, ya que no sobrepasa el límite permisible de 5 ppm de la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-93, esto probablemente debido al compuesto químico en el cual se encuentra presente el plomo, disminuyendo el riesgo de contaminación de mantos freáticos en lo que a estas muestras se refieren.

Tabla II: ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO DE PLOMO TOTAL Y PLOMO LIXIVIALE A MUESTRAS DE JALES.

Muestra	Pb total ppm	Pb lixiviable ppm
2	5 337	2.182
3	12 222	1.691

Los resultados obtenidos de Pb total y la clasificación de impactos ambientales se muestran en la **Tabla III**. Podemos observar que de acuerdo a la CCME (1999) el 78.5% de los sitios presentan un impacto significativo, el 14% presentan un impacto moderado y el 7.5% un impacto leve. Es importante señalar que algunos sitios de muestreo rebasan hasta 100 veces el límite recomendado como

aceptable que es de 140 ppm, lo que demuestra el alto riesgo que implica para los personas que habitan esta zona así como para aquellos que realizan deportes en las mismas. Tomando como base la normatividad de la EPA (2001) el 39% de los sitios presentan impactos significativos, el 14% impactos moderados y el 46% impactos leves, con ambas referencias no se encontró ningún sitio sin impacto. No obstante que esta normatividad amplía los máximos permisibles 11 sitios rebasan estos valores llegando algunos sitios a valores alarmantes como 15 029, 11 781, 7 468 ppm, el primero incluso superior al encontrado en los jales, por lo que el posible daño a la salud, el nivel de contaminación del suelo, agua, aire y debe considerarse como de alto riesgo.

El Pb lixiviable se analizó tomando como referencia la norma NOM-052-ECOL-93, que señala como máximo permisible 5 ppm, de acuerdo a ello el 21% presentan un impacto significativo y el resto (79%) impacto leve. No obstante, que la mayoría de los sitios muestreados están dentro de los límites permisibles, toda el área contiene Pb lixiviable y 4 sitios que coinciden con los de mayor contaminación con Pb total, presentan valores altos y uno muy alto, por lo que no se puede descartar que el impacto ambiental a los mantos freáticos, no se esté dando a través de este elemento.

Tabla III: ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO DE PLOMO A MUESTRAS DE SUELO Y SU IMPACTO AMBIENTAL. SEGÚN CCME (1999), EPA (2001) Y SOSA (2001).

Sitio	Pb ppm	Impacto CCME	Impacto EPA	Sitio	Pb ppm	Impacto CCME	Impacto EPA
1	262	IS	IM	15	150	IS	IL
2	1 721	IS	IS	16	78	IM	IL
3	245	IS	IM	17	63	IL	IL
4	471	IS	IS	18	2 834	IS	IS
5	229	IS	IM	19	129	IM	IL
6	186	IS	IL	20	2 631	IS	IS
7	255	IS	IM	21	158	IS	IL
8	1 344	IS	IS	22	148	IS	IL
9	129	IM	IL	23	189	IS	IL
10	90	IM	IL	24	15 029	IS	IS
11	37	IL	IL	25	509	IS	IS
12	180	IS	IL	26	7 468	IS	IS
13	455	IS	IS	27	11 781	IS	IS
14	155	IS	IL	28	3 253	IS	IS

IL= Impacto leve.

IM= Impacto moderado.

IS= Impacto significativo

Tabla IV: ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO DE PLOMO LIXIVIABLE A MUESTRAS DE SUELO Y SU IMPACTO AMBIENTAL SEGÚN LA NORMA NOM-052-ECOL-93 Y SOSA (2001).

Sitio	Pb ppm	Impacto	Sitio	Pb ppm	Impacto
1	0.78	IL	18	1.99	IL
2	7.78	IS	19	0.26	IL
3	0.97	IL	20	1.15	IL
4	0.75	IL	21	1.03	IL
5	0.24	IL	24	38.70	IS
6	1.01	IL	25	0.36	IL
7	0.22	IL	26	0.19	IL
8	9.45	IS	27	7.10	IS
11	0.29	IL	28	2.18	IL
14	0.27	IL			

IL= Impacto leve.
IS= Impacto significativo

Se determinó el índice de calidad ambiental según el método de Battelle Institute (1972), tomando en cuenta el Pb total y las recomendaciones de la CCME (1999). Como podemos observar en la **Figura 1** la mayor parte de los sitios muestreados están en un nivel de calidad ambiental por debajo de 0.5, lo cual demuestra que la calidad de vida de la personas de esa colonia, no reúne las condiciones necesarias, para no tener problemas relacionados con la contaminación de Pb.

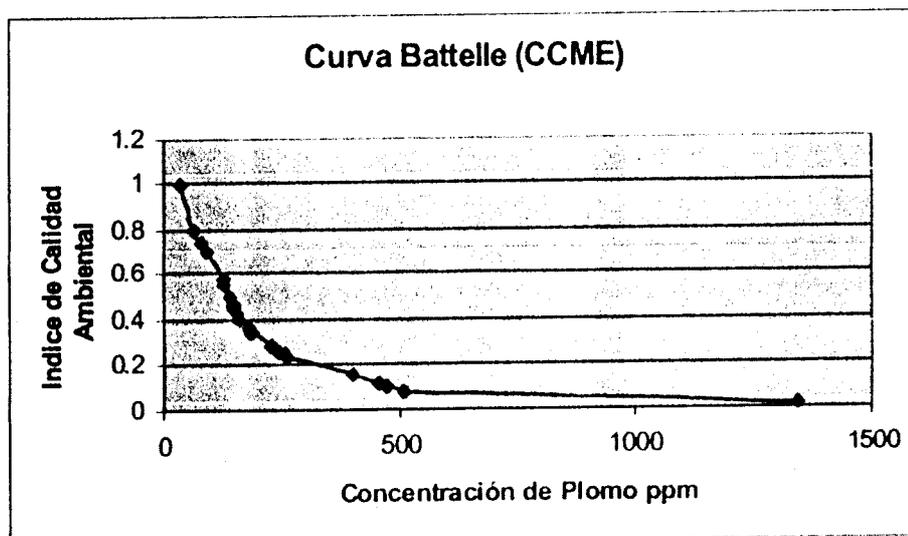


Figura 1. Curva de Battelle tomando en cuenta los límites máximos permisibles para suelo de uso residencial según CCME (1999).

Los sitios con bajo índice de calidad ambiental son relativamente pocos (**Fig. 2**), pero por tratarse de áreas habitacionales se considera que la calidad ambiental debe darse en la totalidad de los sitios, en virtud de que no se debe arriesgar la salud de las personas, además de la movilidad que puede tener el elemento y contaminar áreas que no lo están tanto (EPA 2001). Es importante señalar que la

presencia de este contaminante prácticamente afecta toda el área de estudio, pues no existe ningún sitio con calidad ambiental 1. El mismo comportamiento lo podemos ver en la **figura 3** en la que se muestra la calidad ambiental en relación al Pb lixiviado.

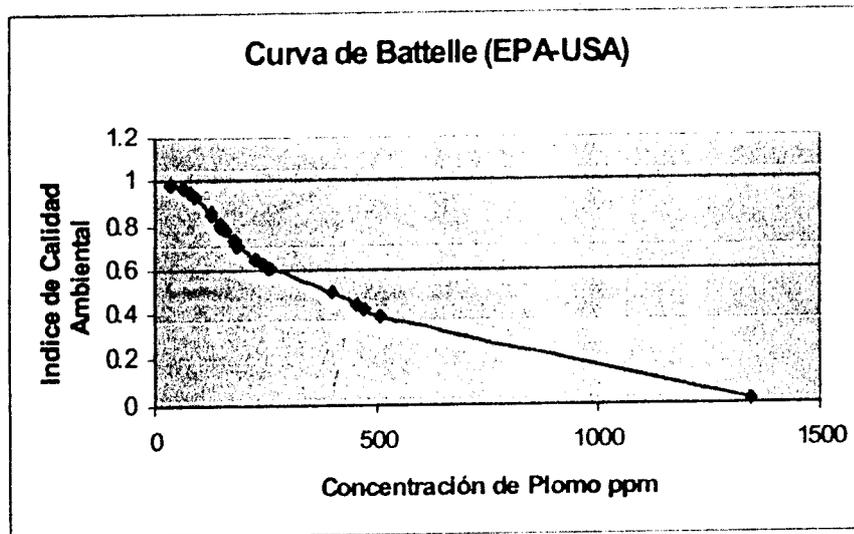


Figura 2. Curva de Battelle tomando en cuenta los límites máximos permisibles para suelo de uso residencial según Environmental Protection Agency, EPA (2001).

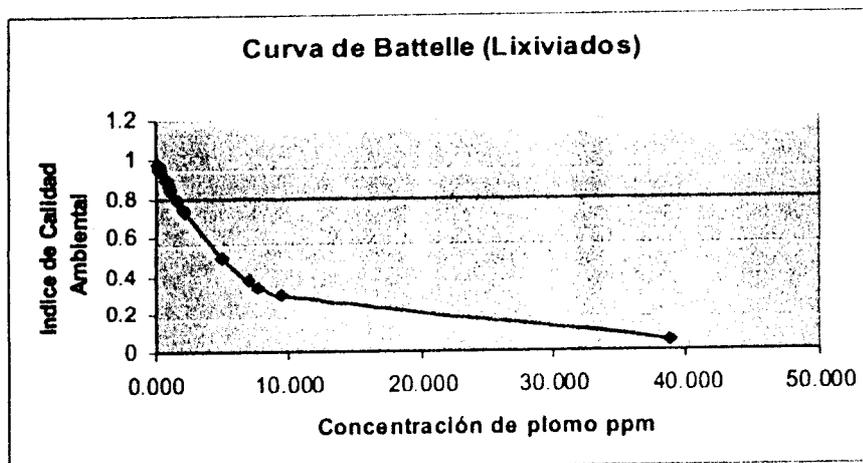


Figura 3. Curva de Battelle tomando en cuenta los límites máximos permisibles para plomo lixiviable establecidos en la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-93.

DISCUSIÓN

La mayor parte del área muestreada, a excepción de un sitio, contiene niveles mayores a 50 ppm, valor considerado para suelos no contaminados según Nriagu (1979), quien además menciona que áreas urbanas con valores mayores de 200 ppm se consideran contaminadas, en este estudio se encontraron más de la mitad 7

con valores mayores a esa cantidad, por lo que el problema de contaminación es importante.

Los puntos de muestreo o sitios que presentan niveles muy altos de Pb son los que se encuentran en las inmediaciones de la empresa minera, esto es lógico ya que están más expuestos al material contaminante, lo que representa un peligro ya que esa zona es una unidad habitacional y existen parques de recreo, por lo que es necesario reducir el riesgo de contaminación por plomo para la población mediante campañas de reforestación de parques y jardines, así como cubrir con cemento las banquetas y los patios, para evitar el contacto con el suelo principalmente los niños al jugar (US EPA 1986).

En virtud de que existe también Pb lixiviable en prácticamente toda el área de estudio se recomienda la pavimentación de las calles, una medida importante aunque más costosa, pero con esto se evitarían las tolvaneras en los días de mucho viento (EPA 2001) y que el Pb llegue a los mantos freáticos.

Según US Hud (1993) la mejor medida de mitigación que podemos recomendar es cambiar de domicilio, pero esto puede ser aún más complicado para las familias de esta zona, ya que su nivel socioeconómico no se los permitiría.

Respecto a los jales, lo ideal sería que se realizara un confinamiento para eliminarlos completamente, o de lo contrario recubrirlos con tierra y materia orgánica para establecer algunas especies de plantas y evitar así la propagación de los contaminantes.

CONCLUSIONES

Los jales que se encuentran en los patios de esta excompañía minera son un problema latente de contaminación debido a la gran cantidad de elementos presentes y su alta concentración, y es importante realizar estudios posteriores para determinar el impacto ambiental del total de los elementos presentes en los jales.

Tenemos un gran problema de contaminación de Pb en el suelo tomando en cuenta los límites máximos permisibles para suelo de uso residencial.

Los resultados de plomo lixiviable no son tan altos como se esperaban por lo cual el impacto es menor, pero no nulo por lo que se deben aplicar medidas correctivas para evitar una contaminación de plomo en subsuelo y aguas subterráneas.

Es urgente la implementación de las medidas de mitigación propuestas considerando los resultados obtenidos en este estudio, en toda el área de estudio.

Es importante realizar estudio de evaluación de los otros elementos que salieron altos en los jales y monitorear así mismo el nivel de contaminación de Pb en aire y suelo en esta zona, para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Q. Silvia Miranda, Ing. Alma Rubio y M.C. Alejandro Robau por su valiosa cooperación para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

Adriano, D.C. (1997). Biogeochemistry of trace metals Science Reviews, Georgia, 432 pp. Martinera A. Vol 3, pp351-357.

ATSDR (1993). *Toxicological profile for lead*. Final Report of the Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Public Health Service, US Department

- of Health and Human Services, Atlanta Ga. pp. 2-4, 6-7.
- Battelle Institute. (1972). Environmental Evaluation Systems. U.S. Department of the Interior. Gov. Print. Office. USA.
- Case, J.M., Reif, C.B. y Timko A. (1989). Lead in the bottom sediments of Lake Nuangola and fourteen other bodies of water in Luzerne County, Pennsylvania. *Journal of the Pennsylvania Academy of Science* 63:67-72.
- CCME. (1999). Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the environment.
- Csuros, M y Csuros C. (2002). *Environmental sampling and analysis for metals*. Lewis Publisher. p. 372
- EPA. 2001. Lead: Identification of Dangerous Levels of Lead; Final Rule, 40 CFR Part 745.
- García V.G.G., Rubio A. M., Del Razo J. V., Borja A. E.V., Aguilar, M. y Cebrián G. (1999). Lead exposure in children from urban areas in the Region Lagunera, Mexico. *Toxicological Sciences* 48. 329.
- IGME (1996). La investigación de suelos contaminados en el IGME. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España. p 2-7.
- Mahaffey K.R., Rosen J.F., Cheney R.W., Peeler J.T., Smith C.M. y De Luca (1982) Association between age, blood lead concentration, and serum 1, 25 dihydroxycholecalciferol levels in children. *Am J. Clin. Nutr.* 35: 1327-1331.
- Mushak P., Davis J.M., Crocetti A.F. y Grant L.D. (1989). Prenatal and postnatal effects of low-level lead exposure. *Environ. Res.* 50: 11-36.
- National Academy of Sciences. (1983). Risk Assessment in the Federal Government Managing the process. National Academy Press. Washington, D.C.
- NMX-AA-051-SCFI. (2001). Análisis de Agua – Determinación de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba. Norma Oficial Mexicana,
- NOM-052-ECOL-(1993), Establece las Características de los Residuos Peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un Residuo Peligroso por su Toxicidad al Ambiente. Norma Oficial Mexicana
- NOM-053-ECOL-(1993). Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Norma Oficial Mexicana,
- Nriagu G. (1979). Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. *Nature*; 279: 409-411.
- Prokop, G. Edelgaard I., Schamann M. y Bonilla A. (2000). Management of contaminated sites in Western Europe. European Environment Agency. Topic Report 123/1999.
- Salager J.L. (1992). El mundo de los surfactantes. Cátedra Hans Neumann, Escuela de Ingeniería Química. Universidad de los Andes.
- Sánchez, L.E. (1995). Manejo de residuos sólidos en minería. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. UNESCO Vol. I: 239-250.
- Saval S. (1999). Exitos y fracasos de la remediación de suelos en sitios contaminados con hidrocarburos. En: Siebe C. Conservación y Restauración, México .
- Sosa C.M. (2001) Modificaciones al método de matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Suplemento 1:52
- U.S EPA Environmental Protection Agency, (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund*. Vol. I: Human Health Evaluation Manual. Interim Final. Office of

- Emergency and Remedial Response. EPA/540/1-89/002.
- US EPA Environmental Protection Agency. (1986). *Air quality criteria for lead*. Research Triangle Park, NC: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office. EPA 600-08-83-028F.
- US Hud. (1993). Guidelines for the evaluation and control of lead-based paint hazard in housing. U S Department of Housing. And Urban Development.