CARACTERIZACIÓN DE METALES Y METALOIDES EN SUELO ALEDAÑO A PRESAS DE JALES

Resumen

Los jales constituyen el depósito de residuos de la industria minera. La caracterización de un sitio forma la fase inicial para el diagnostico de su posible contaminación, en función de esta se llevan a cabo los análisis de riesgo y en su caso la remediación. El impacto ambiental causado por metales y metaloides, depende de la capacidad de acomplejamiento de estos con el suelo, así como de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del entorno. Para este estudio se realizó un muestreo en la zona aledaña a las presas de jales de una exfundidora de metales, se recolectaron 39 muestras las cuales se caracterizaron de acuerdo a su: composición del suelo, pH, cantidad de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, concentración total y soluble de Zn, Cd, Pb y As. Los resultados obtenidos de metales totales y solubles superan las concentraciones de referencia para Zn (46% y 79% de las muestras), Cd (64% y 62%), Pb (90% y 62%) y As (95% y 36%). Estos metales se encuentran biodisponibles, por lo que pueden ser lixiviables, y entrar a la cadena alimenticia. El Pb, Cd y Zn son menos biodisponibles donde el pH es alcalino y el As es más biodisponible.

1. Introducción

La forma química de un elemento, tiene influencia directa en su solubilidad, movilidad y toxicidad en el suelo; ésta, a su vez, depende de la fuente de contaminación y de la química del suelo en el sitio contaminado *(Nies, 1999).* El impacto ambiental causado por la contaminación por metales, depende de la capacidad de acomplejamiento de estos con el suelo, así como de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del entorno, los cuales pueden cambiar el estado de oxidación de los metales. Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen u oxidan lentamente mediante los procesos de lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión. etc. *(Puga et al., 2006).*

Los elementos potencialmente tóxicos *(EPT)* más comunes derivados de procesos mineros, en el caso de México, son Pb, Cd, Zn, As, Se y Hg *(Gutiérrez y Moreno 1997)*. Siendo el Plomo y Cadmio de los contaminantes encontrados con más frecuencia en las zonas mineras de México *(SEMARNAT, 2004b).*

Estos contaminantes pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrimentos, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera. También dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo *(Cabrera et al., 1999).*

El pH es un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más

disponibles a un pH alcalino. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos (Alloway, 1993).

2. Metodología

Sitio de Muestreo

El muestreo se realizó según los criterios de la Norma Técnica Mexicana 132 *(NMX-AA-132-SCFI-2006)* en la zona aledaña a las presas de jales de una fundidora de metales fuera de operación al sureste de la ciudad de Chihuahua, Chih.

Plan de Muestreo y Recolección de las Muestras

El plan de muestreo se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos en la NOM 132. Se recolectaron 39 muestras en un radio menor a 1 km, para un área de 60 ha aproximadamente, con una separación entre cada muestra de 132 m. Éstas se extrajeron a una profundidad menor de 10 cm y se llevaron al laboratorio para ser preparadas y analizadas. Los puntos de muestreo fueron ubicados en el sitio de forma sistemática con un geoposicionador geográfico (GPS) Thales modelo 2004 (Figura 1).

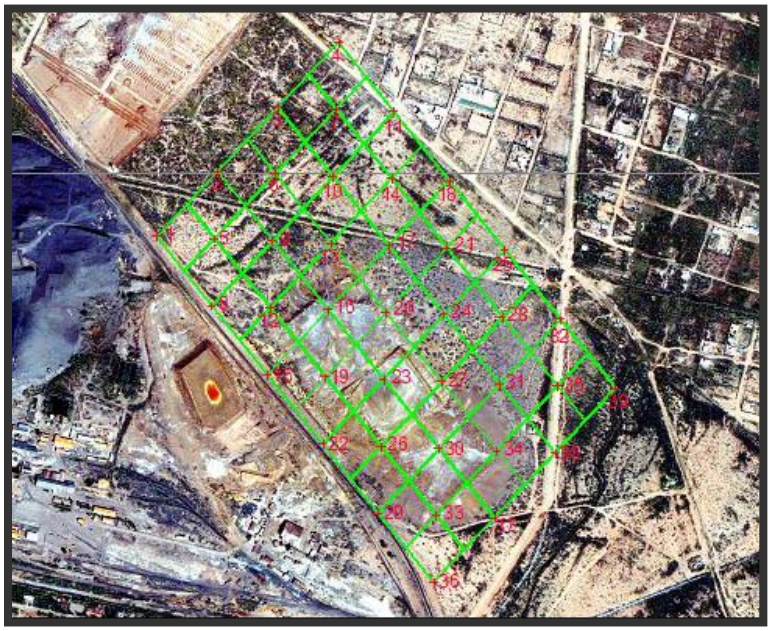

Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo del sitio según la *NMX 132*.

Caracterización de Suelo

A. Composición Mineralógica del Suelo

Se analizó el suelo por difracción de Rayos X para conocer su composición. Este análisis se llevo a cabo en equipo *PANanalytical* modelo *X'Pert Pro.*

B. Medición de pH

Para lograr la medición de pH se utilizo el potenciómetro Corning pHion meter 450. La mezcla de agua destilada y suelo se hizo a una proporción 1:1, según Norma Oficial Mexicana 147 *(NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004).*

C. Cantidad de Materia Orgánica (MO)

Para la determinación de MO se siguió el método de Walkley y Black requerido por la NOM 021 *(NOM-021-RECNAT-2000)*. El procedimiento se llevó a cabo mediante la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Se adicionó ácido fosfórico (H_3PO_4) para evitar interferencias. Con este procedimiento se detectó entre un 70 y 84% del carbón orgánico total. Ese valor se multiplicó por un factor de corrección de 1.298 (1/0.77) recomendado para México *(NOM 021)* para la obtención de MO.

D. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Se utilizó el método de acetato de sodio (López *et al*., 2002). Para la realización de esta prueba, se tomaron 5 mL de suelo por muestra, se agregaron 100 mL de acetato de sodio y se agitó durante una hora, posteriormente se filtró. El residuo se lavó con etanol y se dejó secar durante 24 horas. Una vez seco, se le agregaron 100 mL de acetato de amonio, se agitó durante una hora y se filtró. Del filtrado se tomó 1 mL, más 8.8 ml de acetato de amonio y 0.2 mL de oxido de lantano. Se analizo la cantidad de Sodio de la mezcla obtenida en un equipo de espectrofotometría de absorción atómica, marca GBC Modelo Avanta Sigma.

E. Determinación de Metales Totales y Solubles en Suelo

El método para la extracción y análisis de metales solubles en las muestras de suelo fue hecho en base a los procedimientos que marca la Norma Oficial Mexicana 053 *(NOM-053-ECOL-1993)*. El método para la obtención de los metales totales en las muestras de suelo se siguió de acuerdo a los procedimientos de la NOM 147.

De acuerdo a la NOM 053 la selección de los reactivos utilizados para la lixiviación de los metales se realizó en función del pH resultante, reactivo 1 (solución de 0.2 molar de ácido acético glacial con 64.3 mL de NaOH 1N) y reactivo 2 (ácido acético 0.2 M). Una vez seleccionado el reactivo de extracción se procedió a la lixiviación de las muestras de suelo. A 25 g de cada muestra de suelo se le adicionaron 500 mL de la solución de extracción y se pusieron en agitación durante 18 ± 2 h en un equipo de rotación constante. Después de la agitación, las muestras fueron filtradas, y acidificadas para su preservación, hasta la realización de la digestión y análisis correspondiente.

Para la digestión de los lixiviados obtenidos por el método de extracción de metales pesados a 45 mL de la solución, se le adicionaron 5 mL de HNO_3. Para la obtención de metales totales a 0.5 g de suelo se le adicionaron 10 mL de HNO_3. La digestión se llevo a cabo en un microondas (MARSX) siguiendo los métodos ya predefinidos para suelo por el fabricante del equipo.

Las muestras fueron filtradas y aforadas a 100 mL, para su lectura posterior en un equipo de espectrofotometría de absorción atómica, marca GBC Modelo Avanta Sigma. Los límites de detección del equipo fueron: cadmio 0.007, plomo 0.1, Níquel 0.051, Vanadio 1.25, Berilio 0.15, Zinc 0.015 ppm, Selenio 5.15 y Arsénico 3 ppb; el Mercurio, Cromo y Plata no fueron analizados debido a que no se encuentran en la matriz de este tipo de suelo.

3. Resultados y Discusión

Composición Mineralógica del Suelo

El suelo se encuentra constituido principalmente por yeso ($Ca\ SO_4\ 2H_2O$), cuarzo (SiO_2) $K_2Ca\ Mg\ (SO_4)_3$, y en menor cantidad por sulfato de potasio e hierro hidratado básico, Jarosita ($KFe_3\ (OH)_6(SO_4)_2$).

pH

Los resultados de la medición de pH en el suelo caracterizado se presentan clasificados de acuerdo a la *NOM-021*, 18% de las muestras tiene pH ácido, 38.5% neutro y 43.5% alcalino (Figura 2 y 3). El pH del suelo puede inducir toxicidad al influir en la biodisponibilidad de sustancias perjudiciales para las plantas y animales *(Quartacci et al., 2005)*. A medida que disminuye el pH aumenta la solubilidad de los metales (*Pineda et al., 2004*).

Figura 2. Resultados de pH de las muestras de suelo colectadas.

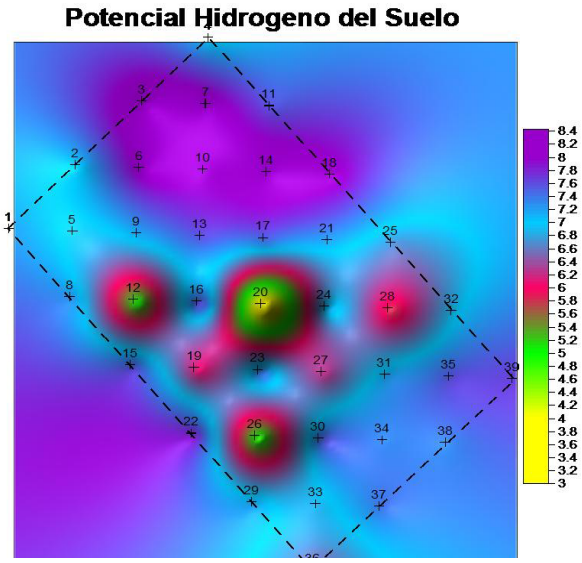

Figura 3. Valores de pH según el muestreo del sitio.

Materia Orgánica (MO)

De acuerdo a la clasificación del suelo basada en los criterios de la *NOM-021*, tomando en cuenta la clasificación para suelos volcánicos (*SIGUE-INEGI, 2004)*. El 100% de las muestras analizadas se clasifica con muy bajo contenido de MO. Considerándose que el suelo analizado es deficiente, lo cual es una característica de suelos áridos y/o semiáridos *(González et al., 2005).*

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Según la *NOM 021*, los valores medios de la CIC, considerando la fertilidad del suelo (Tabla 1) y composición, los resultados que se obtuvieron nos indican que el suelo tiene baja o muy baja fertilidad.

Tabla 1. Clasificación de las muestras de suelo debido a la CIC según la *NOM 021*.

CIC	Fertilidad	Cantidad de Muestras
< 5 me/100 g	Muy baja	26
5 -15 me/100 g	Baja	13

Concentración de Metales Pesados

A. Metales Totales

Las concentraciones obtenidas de metales totales se compararon con los valores de referencia de la *NOM 147* y con los de la Agencia de Protección Ambiental de Australia *(EPHC, 1999).* El Se, V, Be, aparecieron como no detectados por el equipo, por lo que se considera que se encuentran dentro de los niveles de permitidos, 100% de las muestras analizadas de Ni se encuentran dentro de los niveles regulados tanto para uso de suelo industrial como residencial.

Zinc

El 46% de las muestras sobre pasa el valor de referencia para uso de suelo residencial, una sola muestra rebasa el límite de referencia para uso industrial, ambos valores son referenciados de la EPHC ya que en México las concentraciones de Zinc en suelo no se encuentran reguladas (Figura 4 y 5).

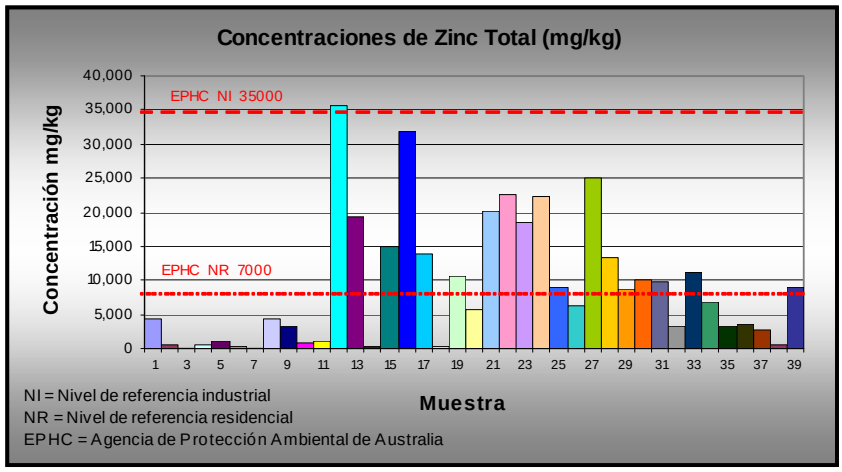

Figura 4. Concentraciones de Zinc total, su comparación con respecto a la NOM 147 y la normatividad de la EPHC.

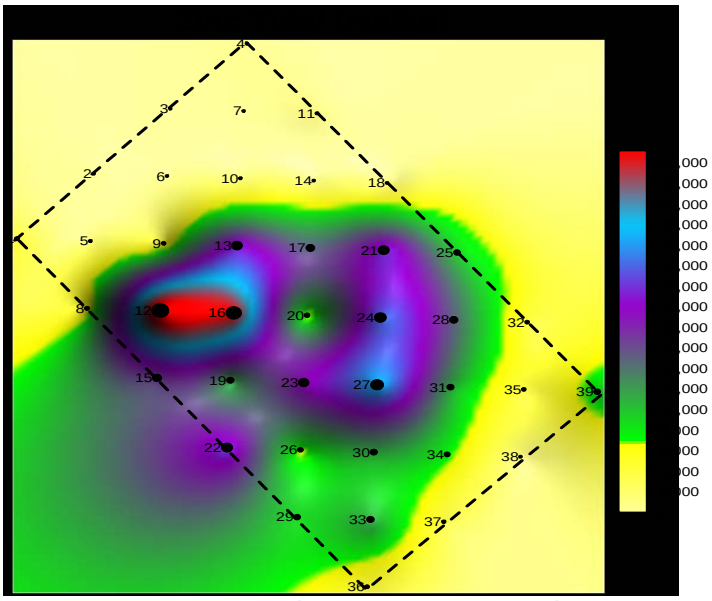

Figura 5. Curva de Isoconcentración de Zinc total según el muestreo del sitio.

Cadmio

En el caso del Cadmio los niveles de referencia de la *EPHC* son más estrictos que la *NOM 147*, sin embargo el proyecto se enfoca más en cumplir con lo regulado en México. Analizando lo establecido en la *NOM 147*, 64% de las muestras rebasa el nivel de referencia para uso de suelo residencial y el 100% de ellas se encuentra dentro del nivel de referencia para uso industrial (Figura 6 y 7).

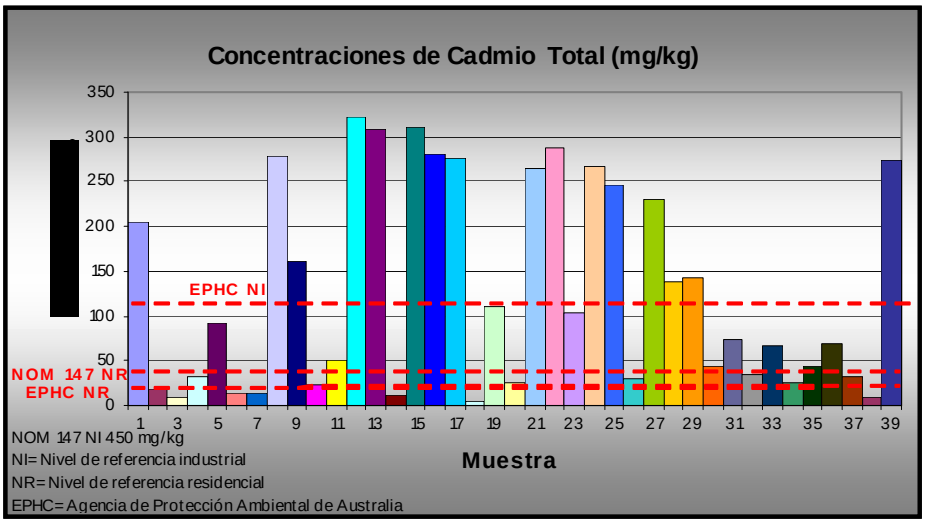

Figura 6. Cadmio total, su comparación con respecto a la NOM 147 y la EPHC.

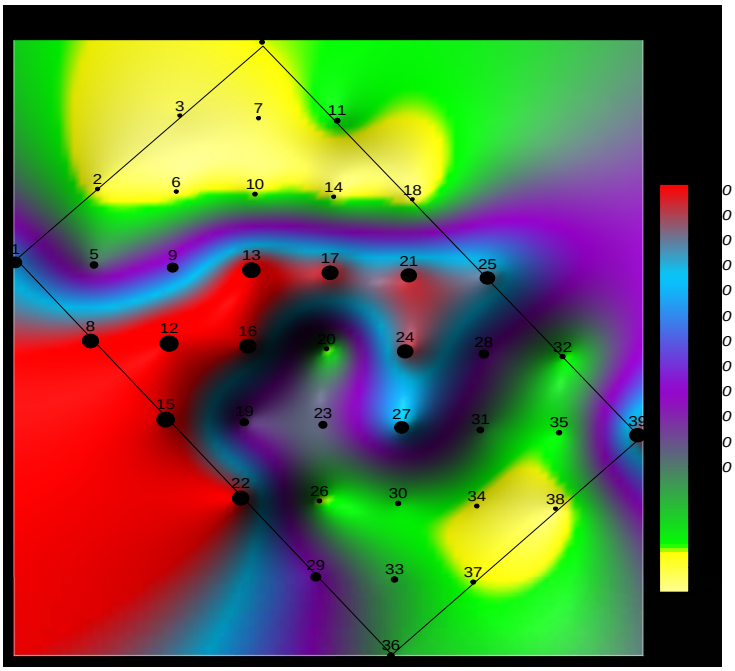

Figura 7. Curva de isoconcentración del Cadmio total según el muestreo del sitio.

Plomo

Según la *NOM 147,* 90% de las muestras está por encima del nivel de referencia para uso residencial y 85% queda por arriba del nivel para uso industrial (Figura 8 y 9).

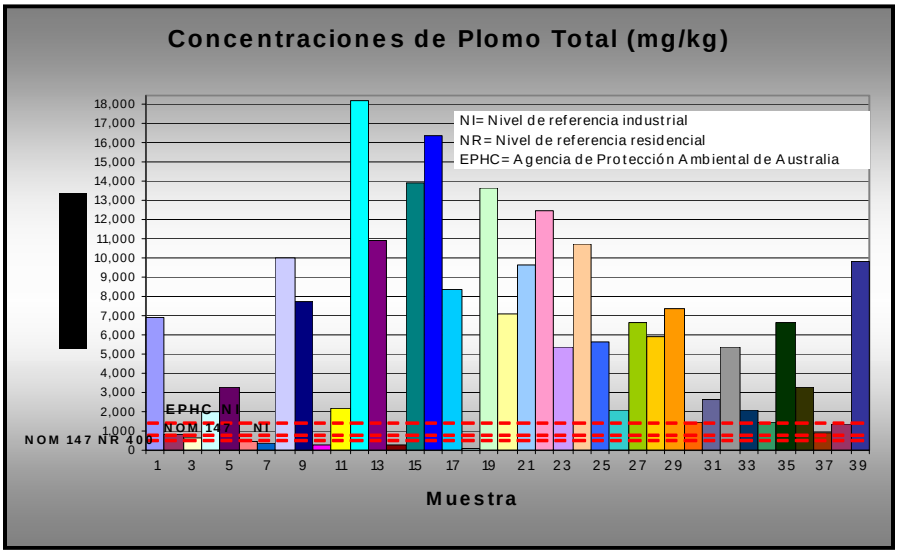

Figura 8. Plomo total, su comparación con respecto a la NOM 147 y la EPHC.

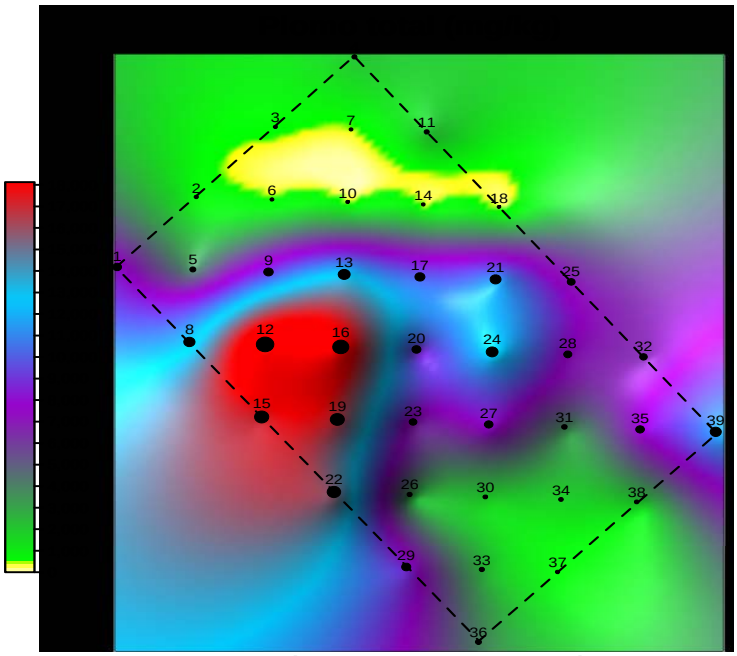

Figura 9. Curva de Isoconcectración del Plomo total según el muestreo del sitio.

Arsénico

De acuerdo con la *NOM 147*, 95% de las muestras sobrepasa el nivel de referencia para uso residencial y el 69% sobre pasa el nivel para uso industrial (Figuras 10 y 11).

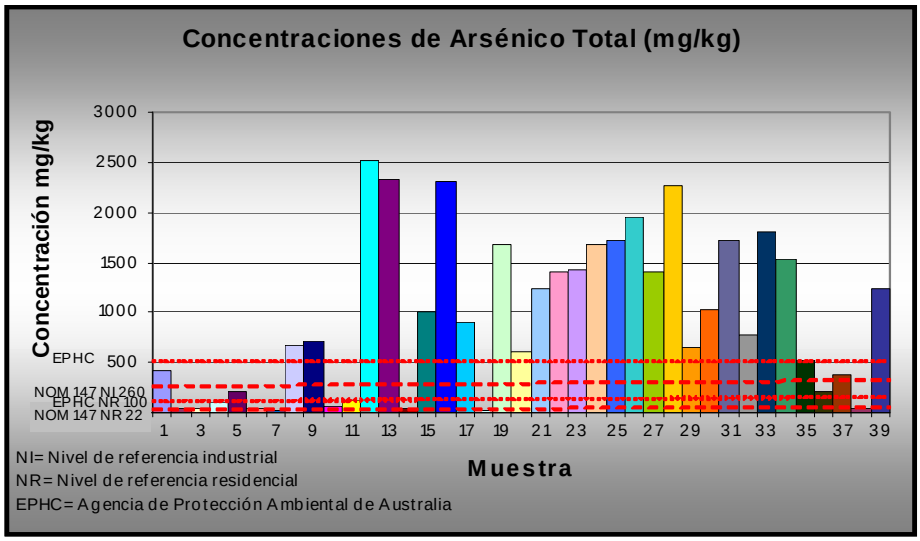

Figura 10. Arsénico total, su comparación con respecto a la NOM 147 y la EPHC.

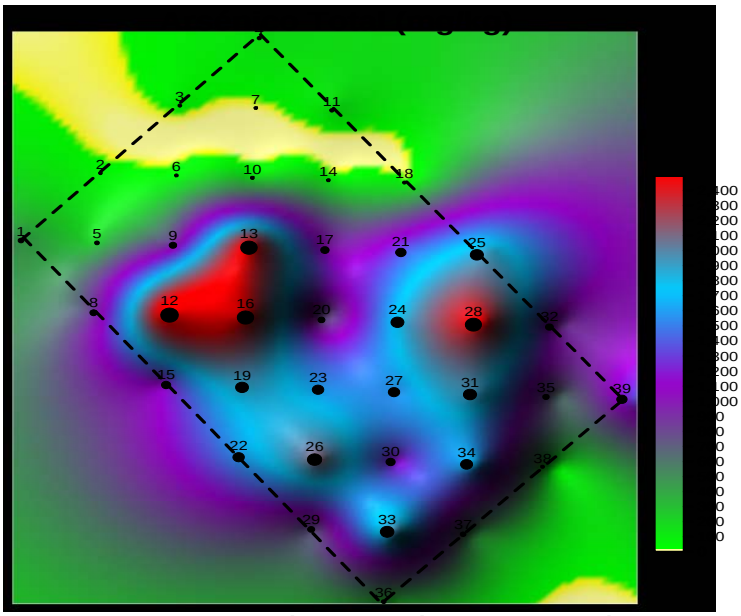

Figura 11. Curva de Isoconcentración del Arsénico total según el muestreo del sitio.

B. Metales Solubles

Las concentraciones de los lixiviados obtenidos por el método de extracción de metales solubles se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en la *NOM 052*. El Se, V, Be y Ni aparecieron como no detectados por el equipo por lo que se considera que se encuentran dentro de los límites permisibles.

Zinc

El Zn no se encuentra regulado por la *NOM 052*, por lo cual se siguió la normatividad establecida por la *EPA*, donde el 79% de las muestras sobre pasa el límite máximo permitido (Figuras 12 y 13).

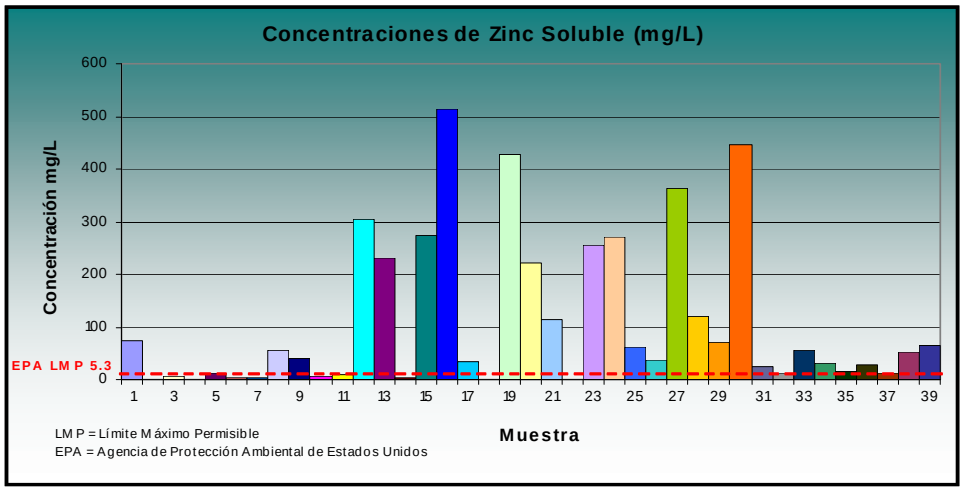

Figura 12. Zinc soluble y su comparación con los niveles de referencia de la *EPA*.

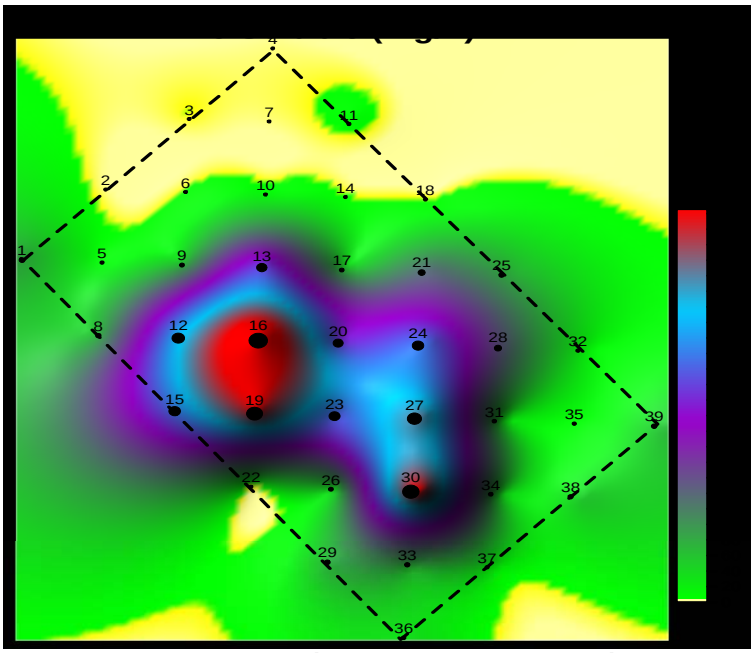

Figura 13. Curvas de Isoconcentración del Zinc soluble según el muestreo del sitio.

Cadmio

El 62% de las muestras rebasa el límite máximo permisible establecido para el extracto PECT (Figuras 14 y 15).

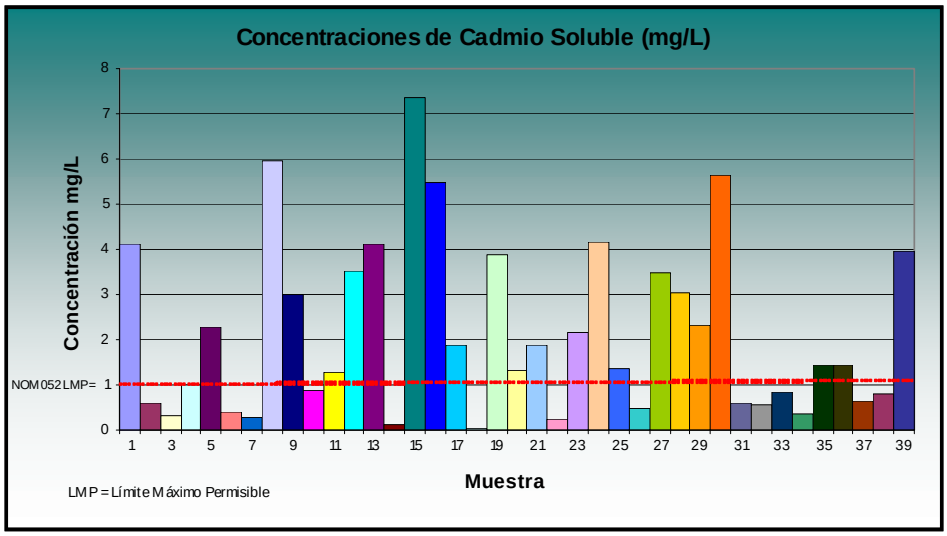

Figura 14. Cadmio soluble y su comparación con los niveles de referencia de la *NOM 052*.

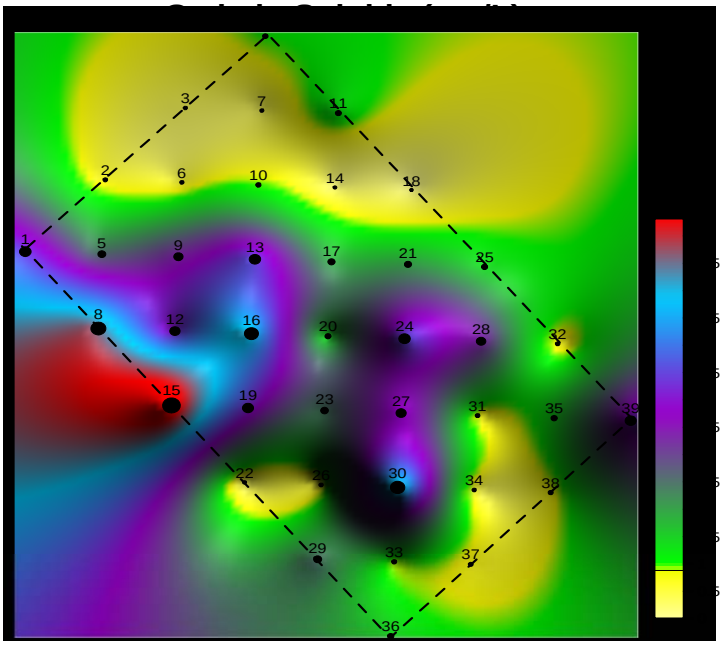

Figura 15. Curvas de Isoconcentración del Cadmio soluble según el muestreo del sitio.

Plomo

El 62% de las muestras sobre pasa el límite máximo permisible establecido para el extracto PECT (Figuras 16 y 17).

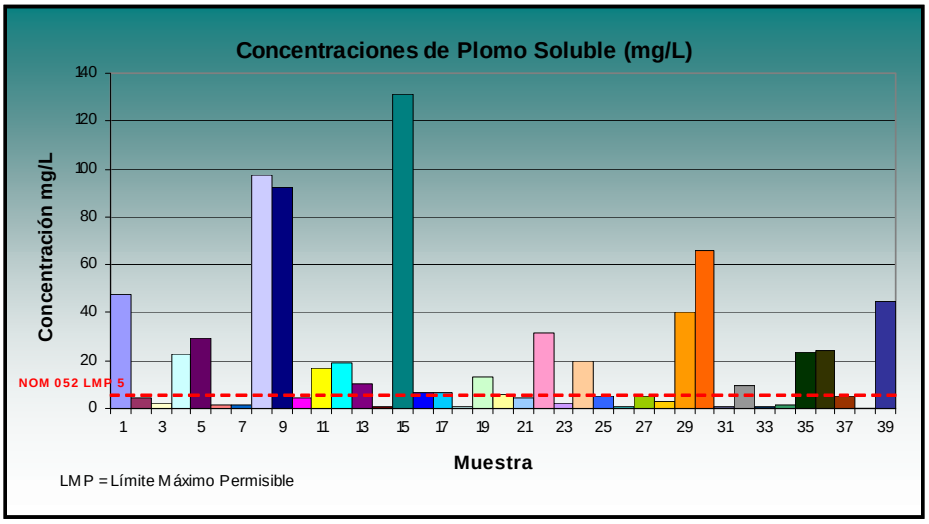

Figura 16. Plomo soluble y su comparación con los niveles de referencia de la *NOM 052*.

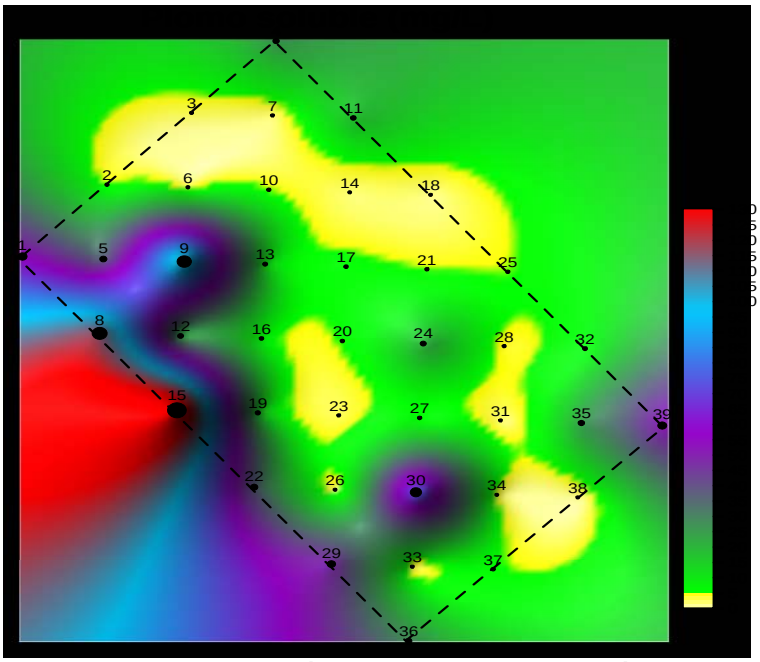

Figura 17. Curvas de Isoconcentración de Plomo soluble según el muestreo del sitio.

Arsénico

El 36% sobrepasa el límite máximo permitido para solubles, el resto de las muestras tiene valores tan pequeños que no se alcanzan a percibir en las gráficas (Figuras 18 y 19).

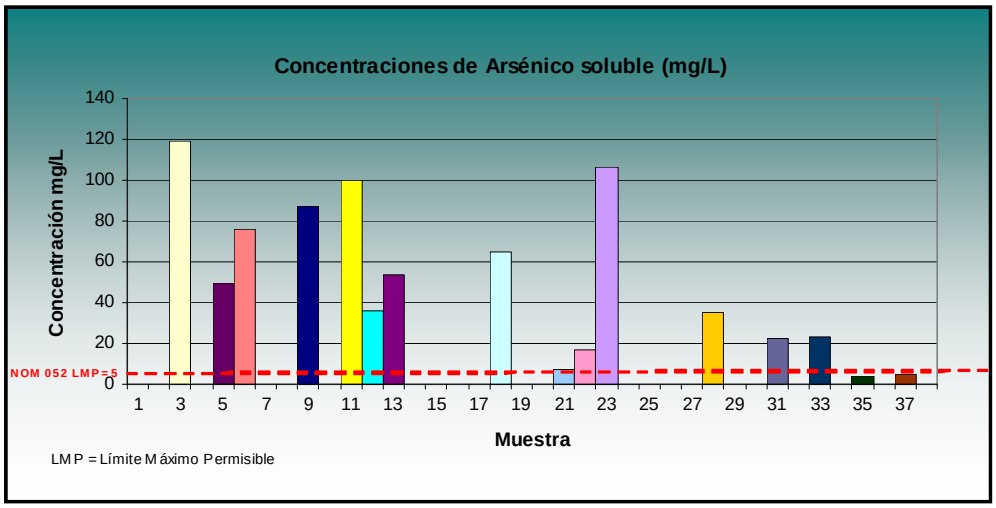

Figura 18. Arsénico soluble y su comparación con la *NOM 052*

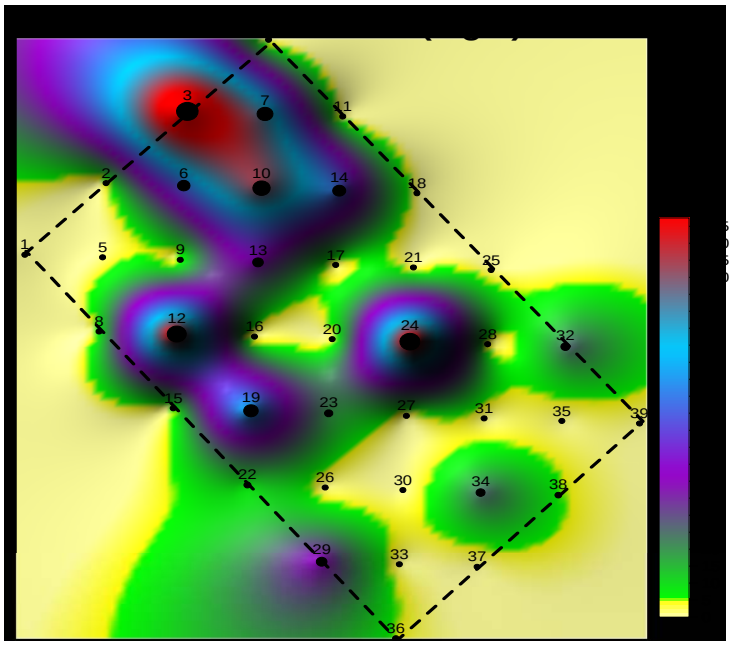

Figura 19. Curvas de Isoconcentración de Arsénico soluble según el muestreo del sitio.

4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos anteriormente, se observa que el suelo se encuentra desmesuradamente contaminado específicamente con Zn, Cd, Pb y As, lo cual ha llegado a afectar las capacidades fisicoquímicas del suelo; estos metales se encuentran biodisponibles, por lo que pueden ser lixiviables, y entrar a la cadena alimenticia. Se observa que en los puntos de muestreo donde el Pb, Cd y Zn son menos biodisponibles el pH es alcalino por lo que el As es más biodisponible.

5. Bibliografía

- Alloway B.J. (1990). Soil processes and the behavior of metals. In: Heavy Metals in Soils. 7-28.
- Cabrera F., Clemente L., Díaz Barrientos E., López R., Murillo J. 1999. Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood. The Science of the Total Environment. pp. 117-129. [En linear]. www.elsevier.com/locate/chemosphere [2007, Marzo 16].
- Environmental Protection Agency. Standards for Metal Wastes and Mineral Processing Wastes. Federal Register. Vol. 63. No. 100. Mayo 26, 1998.
- Gutiérrez, M.E. y M. Moreno. 1997. Los residuos en la minería mexicana. INE, México. Disponible en Internet en: http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/35/los_residuos.html?id_pub=35
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Chihuahua. 2004
- López R., Murillo B., Benson M., López E., Valle G. Manual de Análisis Químicos de Suelos. Centro de Investigación Biológicas del Noroeste, S. C. 2002, La Paz B.C. México, p.19.
- Nies, D.H. 1999. Microbial heavy-metal resistance. Applied Microbiology and Biotechnology 51: 730-750.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México. 2000.

- Norma Oficial Mexicana. NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. México. 2005.
- 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. México. 1993.
- 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. México. 2004.
- Norma Técnica Mexicana. NMX-AA-132-SCFI-2006. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. México. 2006.
- Pineda R. Presencia de hongos micorrízicos arbusculares y contribución de *Glomus intraradices* en la absorción y traslocación de cinc y cobre en girasol (*Helianthus annuus L.)* crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. Tesis (Doctorado en Ciencias Biotecnológicas). Tecomán, Colima. Universidad de Colima. 2004.
- 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. Año/ Vol. 22. Número 002. Pp.75-82.
- SEMARNAT 2004b. Información proporcionada por la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas. INE, México.

The Organizing Committee of the

XIX INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXTRACTIVE METALLURGY

Honors and presents to

MA. CECILIA VALLES ARAGÓN, MA. TERESA ALARCÓN HERRERA.

This certificate of recognition and appreciation for presentation of

CARACTERIZACIÓN DE METALES Y METALOIDES EN SUELO ALEDAÑO A PRESAS DE JALES

in the technical oral session.

Saltillo, Coah., México, 18 de mayo de 2010.

Dr. Martín Pech Canul
Organizing Committee Chair

Dr. Juan Carlos Rendón Angeles
Organizing Committee Member