



## DISPERSION OF POLLUTANTS BY MINING WASTE INTO A RESIDENTIAL ZONE

## DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES POR RESIDUOS MINEROS HACIA UNA ZONA HABITACIONAL

**Delgado-Caballero, M.R**

**M.C. M<sup>a</sup> del Rosario Delgado-Caballero. Estudiante de Doctorado**  
rosario.delgado@cimav.edu.mx

**Alarcón-Herrera, M. T\*.**

**Ph.D. Ma. Teresa Alarcón-Herrera, Prof. e Investigadora Titular C,**  
Dpto. Energías Renovables y Protección al Medio Ambiente, CIMAV  
Corresponding author: [teresa.alarcon@cimav.edu.mx](mailto:teresa.alarcon@cimav.edu.mx)

**Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. (CIMAV)**

Ave. Miguel de Cervantes 120, C. P. 31109, Complejo Industrial  
Chihuahua

Chihuahua, Chihuahua, México

Tel: +52 (614) 439 1100, Fax: +52 (614) 439 4884 Ext. 1121

**Abstract:** Mining waste (tailings) represent an environmental problem by dispersion and contamination of potentially toxic elements (EPT). The characterization of a contaminated site reveals, the distribution of the present EPT. The aim of this study was to determine the dispersion and contamination by EPT: arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) in a community near to a mining waste accumulated during 50 years from a mineral processing plant. Physico-chemical parameters (pH, electrical conductivity, cation exchange capacity, organic matter) and EPT concentrations were determined in surface soil and dust. Results indicate the presence of EPT in soil exceeding the reference concentrations ( $C_R$ ) of Mexican Regulation (NOM-147) for residential soil use for As, Cd, and Pb; 66, 5.2, and 10.3 times respectively. Meteorological conditions in the area, indicate their high dispersal to the inhabited area, with subsequent environmental and health risks to the exposed population.

**Resumen:** Los residuos de la industria minera (relaves mineros) son un problema ambiental por la dispersión y contaminación de elementos potencialmente tóxicos (EPT). La caracterización de un sitio contaminado permite conocer la distribución de los EPT presentes. El objetivo del estudio fue determinar la dispersión y contaminación de los EPT: arsénico (As)

cadmio (Cd) y plomo (Pb) en un poblado adyacente a residuos mineros acumulados por la operación de una procesadora de minerales durante 50 años. Se evaluaron en suelo superficial y polvo las concentraciones de: As, Cd, y Pb y los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica). Los resultados indican la presencia de EPT en suelo, excediendo para As, Cd, y Pb hasta; 66, 5.2, y 10.3 veces, respectivamente las concentraciones de referencia ( $C_R$ ) de la normatividad mexicana (NOM-147) para suelo de uso residencial. Las condiciones meteorológicas, indican su alta dispersión hacia la zona habitada, con el subsecuente riesgo ambiental y de salud por exposición de la población.

**Keywords:** Dispersion, metals, metalloid, mining waste, soil

**Palabras Claves:** Dispersión, metales, metaloide, residuos mineros, suelo

## 1. INTRODUCCIÓN

La minería en México ha generado por siglos la acumulación de una gran cantidad de residuos sólidos principalmente relaves mineros. (Carrillo-González, 2005). Estos residuos se originan durante el proceso de beneficio del mineral y su composición varía de acuerdo a las condiciones de cada proceso. Los contaminantes derivados de estos procesos principalmente son EPT: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Arsénico (As), entre otros (Volke *et al*, 2005). Si los EPT se encuentran biodisponibles, éstos pueden afectar la fertilidad y/o uso posterior de los mismos, así como el riesgo de exposición de la población en zonas habitadas (Gulson *et al*, 1996). Los riesgos de salud por la exposición a los EPT son altos ya que el As, Cd y sus compuestos como carcinogénicos. Mientras que el Pb y sus compuestos presentan efectos en la salud en el sistema nervioso principalmente (IARC, 2012). El objetivo de esta investigación fue determinar el grado de dispersión y contaminación por los EPT: As, Cd y Pb presentes en las montañas de los relaves mineros. El sitio de estudio se ubica en un

poblado (San Guillermo) del estado de Chihuahua, México (Latitud 28°35'40.82"N, Longitud

105°55'55.82"O), y dicha zona habitacional se encuentra a 400m de los relaves mineros (volumen aprox.=291,100 km<sup>3</sup>) con una pendiente descendiente hacia la zona habitacional de 11.5%. Las condiciones climáticas del área de estudio de acuerdo con la clasificación <sup>1</sup>Köppen, son climasemi-árido frío (BSk), con temperaturas promedio máximas de 40°C y mínimas de -14°C, precipitación pluvial media anual de 350.0 mm, y un promedio de 60 días de lluvia. Los vientos dominantes provienen del Sur y Este [INEGI, 2013].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.2 Muestreo del suelo y polvo en el sitio



Figura 1. Mapa del área de estudio

## 2.2 Muestreo del suelo y polvo en el siti

El muestreo de suelo y polvo fue sistemático de cuadrícula radial (espiral), en un área de 53 hectáreas, (NMX-132). Se ubicaron 89 puntos de muestreo para suelo y polvo uniformemente distribuidos (Fig. 1).

Las muestras de polvo en la zona habitacional se colectaron superficialmente de las banquetas, esquinas y borde de las calles pavimentadas de acuerdo a los procedimientos de la Agencia de Protección Ambiental de los estados unidos (USEPA, 2011) AP-42 appendix C.1 y C.2.

## 2.3 Caracterización del suelo y polvo

La determinación analítica de: pH, CE, CIC y MO de las muestras de suelo y polvo se llevó a cabo con un tamaño de partícula 150  $\mu\text{m}$  (USEPA, 2011). La medición de pH y CE se realizaron de acuerdo a lo indicado en la (NOM-021, 2000). La determinación de la CIC se realizó de acuerdo al método 9081 de la EPA (USEPA, 2012). La MO se calculó a partir del Carbono orgánico usando el factor 1.724 de Van Bemmelen (Melgratti, 2005).

## 2.4 Cuantificación de metales totales

La determinación de metales totales se realizó de acuerdo al procedimiento general de la NOM 147 (NOM-147, 2004). Las mediciones se realizaron por duplicado en un equipo de absorción atómica (AAS) con generador de hidruros GBC marca AVANTA SIGMA. Con el programa ArcGIS 10, se determinaron las curvas de isoconcentración para: As, Cd y Pb.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Parámetros fisicoquímicos.

En la tabla 1 se presentan los parámetros fisicoquímicos a las muestras del sitio evaluado y del suelo no contaminado.

Tabla 1. Parámetros Fisicoquímicos

Mediciones Suelo No contaminado	Relaves mineros	Suelo contaminado	Polvo	pH <sub>1:2</sub>	6.1	5.8
4.4 - 9.8	CE <sub>1:5</sub> (dS/m)	42.7	6.7	0.09 - 2.34	0.27	- 1.06
CIC (Cmol(+)/kg <sub>-1</sub> )	32.3	17.9	7.7	- 20.6	5.3	- 19.8
MO (% w/w)	4.7	0.30	0.3	- 2.0	1.0	- 1.7

Las muestras de suelo, presentaron valores de pH's desde fuertemente ácido (pH= 4.4) a 300 m. de los relaves mineros hasta fuertemente alcalino (pH= 9.8) a 800 m. Las muestras de polvo tuvieron valores de pH's 7.7; (n= 9.4). Se encontró una correlación entre el pH y las fracciones de limo/arcillas, indicando la capacidad de retener e intercambiar a los metales con los minerales presentes Fe y S, y con ello la posible formación de compuestos como los sulfatos, oxihidróxidos y carbonatos en forma de costras o eflorescencias (Galán & Romero 2008). La CE del suelo, varía desde moderadamente salina (100m de los relaves mineros) hasta no-salina (a 400m de los relaves mineros). Y la CE del polvo se clasifico como no-salino. La CIC y el contenido de MO en todas las muestras se consideran bajos, siendo menores que el suelo no contaminado. Indicando una degradación del suelo a lo largo del tiempo, posiblemente causada por la dispersión de los relaves mineros.

<sup>1</sup> Clasificación climática mundial, basándose en los diversos tipos de vegetación

### 3.2 Concentraciones de metales totales en suelo y polvo.

Las curvas de isoconcentración de; As, Cd, Pb y Fe en el sitio de muestreo se muestran en la Figura 2.

Fig 2. Curvas de Isoconcentración en la zona para: As, Cd, Pb y Fe.

La concentración de As total en la zona habitacional a 400m de distancia de los relaves (punto # 25) fue de hasta:  $1903 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 87 veces arriba de la  $C_R$  para uso de suelo residencial. En los puntos 64, 65, 82 y 83, ubicados a 700 y 800m de los relaves, se determinaron concentraciones entre 300 y  $600 \text{ mg}\cdot\text{As}\cdot\text{kg}^{-1}$ , las cuales exceden de 14 a 28 veces la  $C_R$ . En las muestras de suelo las concentraciones de As variaron entre 16.0 y  $2190 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  la máxima a 200m de los

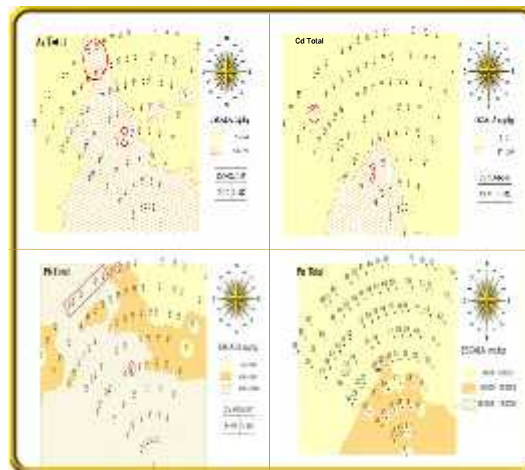
relaves (punto #12), excediendo 66 veces la  $C_R$  para uso de suelo residencial.

Las concentraciones de Cd total en las muestras de suelo fueron desde 2.2 a  $193.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , superando 5.2 veces la  $C_R$  para uso de suelo residencial. En la zona habitacional se registraron concentraciones de Cd total entre 1.0 y  $51.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , registrándose la máxima concentración a 700m de los relaves mineros, excediendo 1.6 veces la  $C_R$  para uso de suelo residencial.

El contenido de Pb total vario entre  $88.4\pm 2.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y  $7242\pm 100.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , registrándose esta última a 400m de distancia de los relaves. A 800m de los relaves la concentración disminuyó a valores entre:  $983 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y

$2397 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (2.5 a 6 veces por arriba de las

$C_R$  para uso de suelo residencial). Las concentraciones de Pb total en suelo fueron entre  $453 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y  $8238 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , ubicándose la de mayor concentración a 300m de los relaves mineros.



### 4. CONCLUSIONES

Los resultados confirman que hay una alta dispersión de As, Cd, y Pb en la zona, siendo dichos EPTs acumulados en la superficie del suelo de la zona habitacional. La dispersión

es ocasionada básicamente por la dirección predominante de los vientos. Existiendo una resuspensión de los contaminantes en la capa superficial de las banquetas y calles pavimentadas de la zona. La exposición de la población se da principalmente a través de: la inhalación de partículas finas distribuidas por el aire, partículas resuspendidas por el movimiento peatonal y tráfico vehicular, la absorción dérmica, la ingesta de suelo y polvo contaminado.

### 5. REFERENCIAS

- Carrillo–González R. 2005. Niveles de contaminación de los suelos y las plantas. Galán H. E., Romero B.A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la sociedad española de mineralogía.

Gulson B.L., Masón K.J., Korsch M.J. & Howarth D. 1996. Non-orebody sources are significant contributors to blood lead of some children with low to moderate lead exposure in a mayor mining community.

International Agency for Research on Cancer (IARC, 2012). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. [monographs.iarc.fr](http://monographs.iarc.fr)

Melgratti, de Inalbon María. 2005. Procedimientos analíticos para suelos normales y salinos, técnicas utilizadas en el laboratorio de suelos y agua.

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.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2002. Treatment Technologies for Site Cleanup: Annual Status Report. 10th Edition. Office of Solid Waste and Emergency Response. [consultada en línea Octubre 5 2008] <http://www.epa.gov/TIO>

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2011. Emission Factor Documentation for AP-42, Section 13.2.1.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2012. Method 9081 cation-exchange capacity of soils (sodium acetate). <http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmeth>

Volke S.T., Velasco T. J.A., De la Rosa P. D.A., 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación.