

Medición de As, Cu, Fe, Pb y Zn en suelos y sedimentos en zonas mineras contaminadas

Barceló Quintal Dagmar Icela¹, Vega Paz Araceli¹, García Albortante Julisa¹,
Hernández Moreno Adolfo¹, Rodríguez Rosales Miriam G.², Manrique Hernández Emilio J.²

¹Área de Química y Físicoquímica Ambiental, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Avenida San Pablo No. 180. Colonia Reynosa Tamaulipas, México, D.F., CP 02200.

²Laboratorio de Análisis de Aguas, Ingeniería en Sistemas Ambientales, ENCB del IPN. Avenida Luis Enrico Erro s/n Unidad profesional "Adolfo López Mateos", Zacatenco, Deleg. Gustavo A. Madero, México, D.F., CP 07738.

ibarceloq@gmail.com

Fecha de aceptación: 21 de julio de 2015

Fecha de publicación: 23 de septiembre de 2015

RESUMEN

México se encuentra entre los países con mayor producción minera, la mayoría de las zonas mineras están en el norte el país. Se determinaron As, Cu, Pb, Fe y Zn en los suelos y sedimentos de un río contaminado con el material de los procesos mineros. Se utilizaron normas y criterios para interpretar si cada metal rebasaba el nivel. Los criterios de EPA y de Bowen se usaron para para As y Pb para suelo, no se halló para sedimentos. En el caso del As, rebasó el criterio de Bowen. Para el Pb se consideró para concentración en suelos urbanos y rurales; usando estos criterios, dos sitios están en riesgo y uno en el límite. También se utilizaron una Norma Francesa, dos criterios Canadienses y la EPA, para Pb, Cu y Zn, con EPA los valores estuvieron por arriba del criterio, para Cu los sitio M13 y M28 con EPA están en riesgo, no rebasaron los demás y para Zn no se rebasó ningún criterio, ni la norma Francesa.

Palabras clave: suelos, sedimentos, arsénico, metales, zona minera.

ABSTRACT

México is among the countries with the highest mining production, most of the mining areas are in the North Country. Were determined: As, Cu, Pb, Fe and Zn in soils and sediments from a river polluted with material of mining processes. EPA and Bowen criteria were used for As and Pb, but only for urban and rural soils, not found sediment. Arsenic in the case of the criterion of Bowen it was exceeded. For the Pb concentration was considered for urban and rural soils; using these criteria two sites are at risk and one in the limit. Standard one French, two Canadians and EPA criteria for Pb, Cu and Zn, Pb where used. EPA indicates that the values are above the criterion value for P exceeded. Cu are at risk in sites M13 and M28. For Zn nowhere exceeded the criteria, or the French Standard.

Key words: soils, sediments, arsenic, metals, mining area.

INTRODUCCIÓN

La Minería en México constituye una de las actividades con mayor tradición, practicada desde la época prehispánica, es reconocida en la historia como un factor de avance y desarrollo económico para el país. En sus inicios la minería tuvo mayor auge en estados como Guanajuato (Industria Minera, 2014), Secretaría de economía), donde en el siglo XVIII se descubrieron minas de plata en la ciudad, convirtiéndose en uno de los principales productores. La plata de la mina de la Valenciana ayudó a mantener al Imperio Español y sus colonias. En Pachuca fue en 1555 cuando por influencia inglesa en esta región del estado de Hidalgo comenzó su desarrollo minero, dejando no sólo técnicas en el extracto de minerales, sino también distintas influencias culturales, en Zacatecas a diferencia de otras ciudades mineras, no se dio el asentamiento europeo, sino fueron tribus indígenas quienes iniciaron con la extracción de algunos minerales y piedras preciosas. En Monclova la historia de México se encuentra relacionada estrechamente con la minería, fue la actividad principal desde la colonia, con la fundación en 1577 de las Minas de la Trinidad lo que ahora es la ciudad de Monclova en Coahuila. Otra región fue San Luis Potosí donde la migración española surge en 1592, lugar donde descubren plata. En la parte de Sonora hubo una delimitación de territorio, debido a la presencia de los apaches, quienes no permitían que se acercaran a sus territorios, por lo que solo la exploración de dos terceras partes del territorio sonorense se realizó. Este auge permitió la acumulación de capitales que beneficiaron a la región norte de México. Sin embargo el lado negativo surgió al paso de los años, con inversiones extranjeras, norteamericanas principalmente, quienes si tenían las condiciones para sacarlas adelante debido a las nuevas ideologías y sistemas que implementaron. El crecimiento poblacional provocó a su vez un crecimiento comercial y económico, por lo que el gobierno estableció un sistema capitalista, lo que ocasionó que los dueños de las minas fueran los grandes empresarios, que mantuvieron y mejoraron tecnológicamente sus minas. (Gil, 2001).

En la actualidad México forma parte de la lista de los países con mayor producción minera en el mundo, durante 1989-1994 la industria minera proporcionó el 1% del empleo nacional. En Sonora, Cananea, mina propiedad del Grupo México, en el municipio de Cananea (Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano, 2013). Esta mina principalmente de cobre. Por otro lado la Caridad es también es otra de las minas importantes en México, ya que se pueden obtener varios minerales a partir de ella: cobre (120 mil toneladas al año), molibdeno (19,500 toneladas al año), oro y plata. Se ubica en el municipio de Nacozari, a unos 200 km de la ciudad de Hermosillo, en el estado de Sonora, se encuentra en un yacimiento de tipo pórfido cuprífero (Seedorff *et al*, 2005). Las reservas al año 2009 eran 2,300 millones de toneladas de mineral con 0.38% de cobre y 0.03% de molibdeno. Piedras Verdes, se encuentra al sur de Sonora, utiliza minado a cielo abierto, lixiviación de óxidos de cobre y calcopirita, extracción por disolventes y electro obtención. En el estado de Zacatecas se tienen un total de 2537 concesiones mineras. Las regiones mineras principales del estado de Zacatecas son: San Julián, productor de oro, plata zinc y cobre. Desde tiempos de la colonia, el estado de Chihuahua ha sido relevante por su producción de minerales metálicos. Durante su historia minera se han explotado yacimientos importantes como los de Santa Bárbara, Parral, Santa Eulalia, San Francisco del Oro, entre otras; actualmente se tienen 23 zonas de asignación minera, protegidas por el Servicio Geológico Mexicano y amparan una superficie de 4 819,930.95 has. Las tres principales regiones mineras de Chihuahua son: Juárez productor de oro, plata, plomo, zinc y cobre. Por lo anterior, es muy importante contar con una confiable infraestructura geológico-minera, geoquímica y geofísica, como la que actualmente está realizando el Servicio Geológico Mexicano para apoyar a las empresas del sector privado en el desarrollo de sus actividades de exploración. Durante el año 2000, el Servicio Geológico Mexicano terminó con el cubrimiento de geofísica del aérea de toda la superficie del Estado, y durante el año de 2001, se concluyó con el cubrimiento geológico-minero y geoquímico de toda la entidad a escala 1:250,000, razón por la que durante el periodo del 2002 al 2013 se ha continuado con el desarrollo de la cartografía geológico-minera escala 1:50,000, geofísica de alta resolución y radiometría de algunas áreas en el Estado.

La minería es una de las industrias que mayor impacto ambiental produce, ya que durante todo el procesamiento del material extraído, existen múltiples factores de riesgo de contaminación al ambiente (Tumialán de la C., 2003). Debido a que la extracción de minerales y posterior tratamiento para su comercialización es un proceso muy complejo, los niveles de contaminación producidos son muy elevados. El grado de contaminación también depende del tipo de extracción que se realice, ya sea subterránea o a cielo abierto y del mineral a extraer. La contaminación producida por la extracción subterránea es la que más perjudica al ambiente. La contaminación se puede dar de diversas formas, tanto agua, suelo, disminución de la biodiversidad o malas condiciones de salud para los trabajadores, entre otras. Por una parte debido a la excavación de grandes rocas subterráneas con reactivos que son expuestas al aire o al agua y que producen grandes cantidades de ácido sulfúrico, causando acidez en el agua, lo cual favorece el crecimiento de ciertas bacterias acidófilas, contaminando más el agua. Por otra parte los lixiviados pueden infiltrarse a las capas profundas de la tierra provocando contaminación de los mantos acuíferos por la presencia de los metales pesados provenientes de las rocas. Otro tipo de contaminación surge por el desecho de los productos químicos utilizados en la separación de los metales de interés. Dichos desechos suelen ser vertidos directamente a los ríos, lagos o lagunas, lo cual es una intensa contaminación que acaba con la biodiversidad de la zona afectada. En cuanto a residuos sólidos, se producen en gran cantidad en todas las minas. En el tipo de minería a cielo abierto, el daño al medio ambiente es debido a la deforestación por abarcar grandes extensiones de terreno, así como la desertificación de zonas aledañas por las corrientes de viento. Finalmente el riesgo a la salud de los trabajadores es elevado, pues si no se tienen las condiciones de protección adecuadas, pueden ocurrir accidentes de intoxicación o derrumbes que afectan la integridad de los trabajadores. Estos factores de riesgo son solo durante el proceso de producción, sumándole el de distribución y venta.

Los pórfidos cupríferos (PC) representan la principal fuente de cobre del mundo, se denomina pórfido cuprífero o pórfido de cobre y molibdeno a un tipo de mineralización de origen magmático e hidrotermal (Ochoa-Landín *et al.*, 2011; Tumialán-De la Cruz P.H., 2003). Los pórfidos cupríferos constituyen la principal fuente de extracción tanto de cobre como de molibdeno. Se pueden subdividir en dos grupos: los yacimientos donde domina el molibdeno y aquellos donde domina el cobre, también conocidos como Mo-(Cu) y Cu-(Mo), respectivamente. El nombre pórfido refiere a su típica pero no necesaria asociación a rocas de textura porfirítica, específicamente de grandes feldespatos en una matriz final (Ochoa-Landín, *et al.* 2011). En la clasificación de Seedorff y Pirajno (2009) los pórfidos cupríferos son uno de cinco tipos de pórfidos siendo los otros pórfido de molibdeno, pórfido de oro, pórfido de tungsteno y pórfido de estaño. En México, solo tres depósitos de este tipo se encuentran en producción de los cuales solo dos (Cananea y la Caridad) son de clase mundial. En la referencia, Industria de Minería (2014) los valores obtenidos de los diferentes metales y arsénico en los sedimentos en lechos de los diferentes sitios muestreados, se presentan nuevos datos sobre la evolución del depósito la Caridad, aportando un mayor conocimiento en pórfidos cupríferos (PC) que ayuden en el desarrollo en programas de exploración en México. Uno de los elementos importantes en la cuanto a las contaminación en las zonas ya explicadas es el As, además del Cu, Pb, Zn. El As se encuentra en forma geogénica principalmente en el agua en algunos estados de la República Mexicana como: el estado de Chihuahua, se encuentran muchos municipios mineros, en Coahuila y Durango. El arsénico en forma natural proviene de las rocas ígneas, las cuales provienen de la actividad volcánica, donde se presenta por ejemplo en la minería como en Sonora, Zacatecas y Guanajuato, también entra al ambiente antropogénicamente en herbicidas, para la conservación de la madera. Se puede presentar en en varios estados de oxidación como -III, 0, III y V formando compuestos inorgánicos y orgánicos en un amplio intervalo de concentraciones en aire, agua, suelos sedimentos, vegetales y animales. Presenta compuestos químicos como: el arsénico (V), se presenta en compuestos inorgánicos como Arseniato y otras formas inorgánicas de As (V), en formas orgánicas metiladas. En el caso de estado de oxidación III, se presenta en formas metiladas, como el ácido dimetilarsenioso y otras formas

orgánicas de As(III), también como óxido de trimetilarsina), etc. La presencia del As en el agua potable puede ser el resultado de la disolución del mineral presente en cuencas hidrográficas cercanas a zonas sísmicas y naturalmente en el suelo por donde fluye el agua antes de su captación para uso humano; o bien, por vía antrópica por contaminación industrial o por plaguicidas a base de As. Si arsénico se presenta como As³⁺ (arsenito) y/o As⁵⁺ (arseniato, abundante), de las cuales el arsenito es el más tóxico para el humano y el más difícil de remover de los cuerpos de agua. La norma FAO/OMS (2007) señala que el nivel máximo permitido se ha reducido a 0.01 ppm en el agua (anteriormente era de 0.05 ppm). La ingestión de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su bioacumulación en el organismo. Pueden ocurrir envenenamientos graves cuando la cantidad tomada es de 100 mg/L. Las formas fisicoquímicas individuales pueden incluir material particulado y formas disueltas como especies inorgánicas simples, complejos orgánicos o el elemento adsorbido en partículas coloidales.

El objetivo de este trabajo consistió en determinar el grado de contaminación de un derrame en una zona minera de cobre que afectó sedimentos y suelos, donde se midieron los elementos As, Cu, Fe, Pb y Zn a lo largo de 40 kilómetros entre suelo y sedimento para determinar el alcance de la contaminación.

METODOLOGÍA

Se analizó una zona afectada por contaminación de restos de material minero procesado, en sedimentos de un río y suelos aledaños, donde compuestos por soluciones de ácido sulfúrico, agua, trazas de cobre y otros metales disueltos, fluyeron por arroyos afluentes de un río principal y que en algunos casos se dispersaron en suelos. Para determinar la dispersión de diferentes metales pesados, se efectuó un monitoreo y recolección de muestras de sedimento y suelos siguiendo un método de cuarteo por zona y se combinaron para muestras compuestas se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Muestras de sedimento del lecho del río y de suelos

| Muestras | Material recogido |
|----------|-------------------|
| M1 | Sedimento |
| M2 | sedimento |
| M3 | Sedimento |
| M7 | Suelo |
| M10 | Suelo |
| M11 | Sedimento |
| M13 | Suelo |
| M16 | Suelo |
| M28 | sedimento |
| M29 | sedimento |
| M31 | sedimento |
| M41 | Suelo |
| M42 | Suelo |

Las muestras colectadas se molieron y se pasaron por mallas Tyler, -8 (diámetro de partícula de 0.2007cm), -14 (diámetro de partícula de 0.1001cm), -20 (diámetro de partícula de 0.0711 cm), -35 (diámetro de partícula de 0.0356 cm), -65 a +100 (diámetro de partícula de 0.0178 cm), se seleccionó el material retenido en malla +100 (65/100) por ser de un buen tamaño de grano y tener la mayor cantidad de material, posteriormente se trataron 1g de muestra por digestión ácida en un horno de microondas marca CEM-MARS 5 primero con 5 mL HF, marca Baker grado Suprapur y 10 mL de agua deionizada, se sometieron a una rampa de temperatura a 120°C y presión 80 psia, durante una hora, para eliminar la sílice, ya que prácticamente el material era cuarzoso, posteriormente se utilizaron

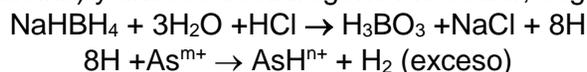
10mL de HNO₃ con 5mL de HCl Baker Suprapur, también con una rampa de temperatura y presión, con las mismas condiciones de la digestión anterior. Las muestras atacadas se aforaron a 100 mL, de los cuales se corrieron por absorción atómica en un espectrofotómetro ThermoElemental, modelo SOLAAR M6, midiéndose los metales Cu, Fe, Pb y Zn.

En el caso del arsénico, se utilizó la técnica por Espectrofotometría con P.S. Analytical 10.555 Millennium Excalibur. Esta técnica presenta alta sensibilidad y consiste en que el equipo contiene un detector por fluorescencia, combinado con la generación de vapor de flujo continuo, genera una buena sensibilidad y linealidad que proporciona un resultado analítico en el que el As se puede detectar hasta niveles de partes por billón, figura 1.



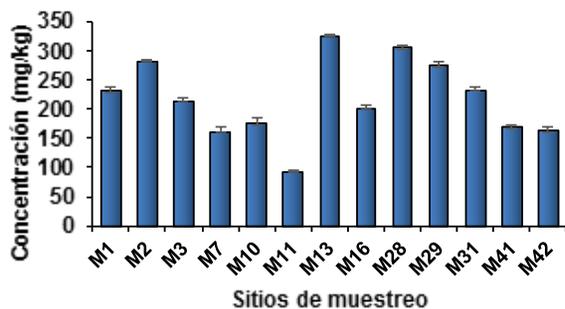
Figura 1: Esquema del equipo generador Millennium Excalibur de flujo continuo vapor/hidruro para determinar arsénico

La solución de la muestra es acidulada con HCl y tratada con tetrahidroborato de sodio en medio alcalino, para generar el H₃BO₃ gaseoso con liberación de hidrógeno nascente (H), de manera que se forma un hidruro con el As (arsina) y exceso de hidrogeno molecular, según las reacciones:

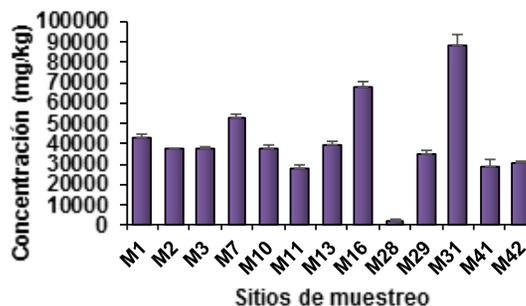


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

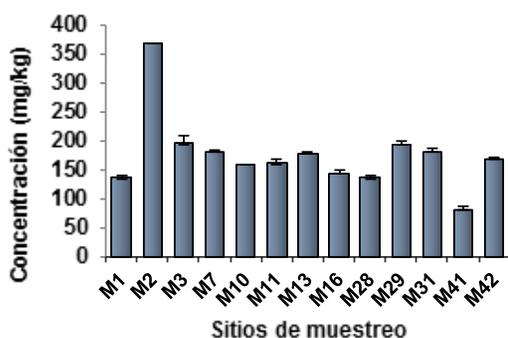
A continuación se presentan las gráficas de resultados de cada metal y de As.



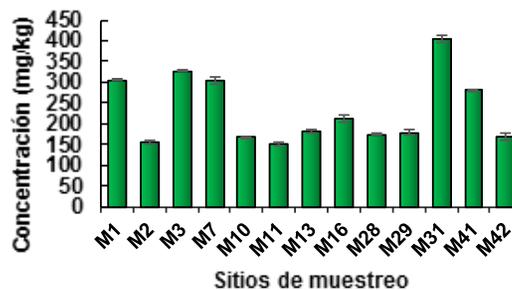
Distribución de Cu en los diferentes sitios



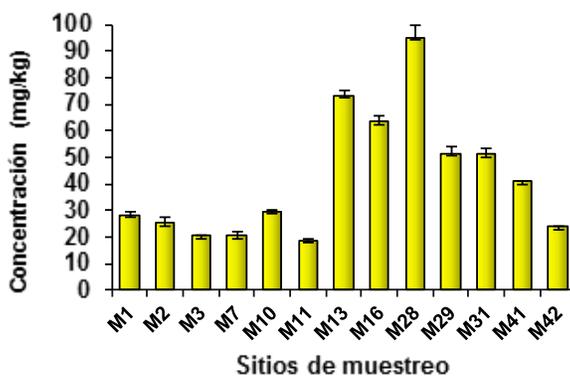
Distribución de Fe en los diferentes sitios



Distribución de Pb en los diferentes sitios



Distribución de Zn en los diferentes sitios



Distribución de As en los diferentes sitios

Figura 2. Valores obtenidos de los diferentes metales y As en los sedimentos en lechos de los diferentes sitios muestreados

Interpretación de resultados

Los límites permitidos por la Agencia de Protección del Ambiente (US.EPA, 1993) para As recomienda como límite en suelos urbanos y rurales (no hay para sedimentos) de 100 mg/Kg. Para el Pb se consideran dos niveles de concentración en suelos: para áreas infantiles 400 mg/Kg, donde se aconseja ya una remediación, y 1200 mg/kg en suelos urbanos y rurales, pero ya se considera una remediación. Estos valores servirán para interpretar los resultados obtenidos ya que no existe una

norma en México, tabla 3 y 4. Según Galán y Romero, 2008, indican que los elementos traza pueden aparecer con más de una forma. Normalmente, Pb, y Zn varían entre 1-1500 mg/Kg, Cu y As entre 0.1 y 250 mg/K, no se encontró para Fe. En la tabla 2 se presentan datos más estrictos por Bowen, 1979.

Tabla 2. Límite de concentraciones y concentraciones anómalas de elementos

| Elemento | Intervalo normal mg/kg | Concentraciones anómalas mg/kg |
|----------|------------------------|--------------------------------|
| As | <5-40 | Hasta 5000 |
| Cu | 2-60 | Hasta 2000 |
| Pb | 10-150 | Hasta 10000 o más |
| Zn | 25-200 | Hasta 10000 o más |

Tabla 3. Para As el máximo permitido en suelos en general: 100 mg/kg (US.EPA, 1993) y Bowen.

| Sitio | Arsénico total medido mg/kg | Evaluación suelos US.EPA (100 mg/kg) | Según valores Bowen 0.1 y 250 mg/kg |
|-------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| M1 | 28.36 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M2 | 25.23 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M3 | 20.62 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M7 | 20.41 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M10 | 29.54 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M11 | 18.82 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M13 | 73.30 | No rebasa (riesgo) | Rebasa pero no son anómalos |
| M16 | 63.33 | No se pasa (riesgo) | Rebasa pero no son anómalos |
| M28 | 95.11 | En el límite | Rebasa pero no son anómalos |
| M29 | 51.53 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M31 | 51.53 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M41 | 40.82 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M42 | 40.82 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |

Tabla 4. Para Pb en suelos rurales (US.EPA, 1993) y Valores de Bowen

| Sitio | Plomo total medido mg/kg | Evaluación US.EPA (1200 mg/kg) | Según valores de Bowen 1-1500 mg/kg |
|-------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| M1 | 135.91 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M2 | 368.09 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M3 | 195.51 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M7 | 181.82 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M10 | 159.51 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M11 | 160.76 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M13 | 178.00 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M16 | 143.93 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M28 | 135.70 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M29 | 194.20 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M31 | 180.51 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M41 | 81.77 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |
| M42 | 169.52 | No rebasa | Rebasa pero no son anómalos |

De todos los elementos traza encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad, éstos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl y Zn. De ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana. Éste es el caso de: Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl (Novotny, 1995). La USEPA (US Environmental Protection Agency), (1993), incluye en la lista de contaminantes prioritarios los siguientes de todos los elementos traza encontrados: Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Tl y Zn, respecto a las listas anteriores de los más tóxicos y disponibles.

El suelo y los sedimentos en lechos secos, actúan como depuradores, en general como una barrera protectora de otros medios más sensibles (hidrológicos y biológicos), filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora depende de los contenidos en materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales arcillosos, de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, del pH y Eh, textura, permeabilidad y actividad microbiana, para cada situación, el poder depurador tiene un límite. Cuando se superan esos límites para una o varias sustancias, el suelo y/o los sedimentos funcionan como contaminados y es fuente de contaminantes. El orden de estabilidad de acuerdo con el tipo de enlace atómico es: Si-O>Al-O>X-O. Por ello los silicatos son en general estructuras más estables, aunque también entre ellos hay grandes variaciones. No se halló ninguna normalización mexicana para sedimentos, se consideró la Norma Francesa (Flores, 1992) (tabla 5) las recomendaciones Canadienses (tabla 6, Weber, 1988) y los criterios de EPA, 1975, (tabla 6) para el empleo de sedimentos en uso agrícola. A continuación se comparan los valores de los metales totales obtenidos en el sedimento superficial de los muestreos de los diferentes sitios, con los de las diferentes normas y criterios, tomando como principal la EPA (1975) por ser la más estricta.

Tabla 5. Concentración máxima autorizada en sedimentos para su empleo en uso agrícola en Francia: Norme AFNOR U44-041 (1975). Asimismo concentración máxima autorizada en sedimentos para su empleo en uso agrícola en Canadá. Concentración máxima autorizada en sedimentos para su empleo en uso agrícola en USA: EPA.

| Metal | Norme AFNOR Concentración máxima en sedimentos (mg/kg) | Ontario Concentración máxima en sedimentos (mg/kg) | Columbia Británica Concentración máxima en sedimentos (mg/kg) | USA:EPA Concentración máxima en sedimentos (mg/kg) |
|-------|--|--|--|--|
| Cu | 1,500 | 17,000 | --- | 410 |
| Pb | 300 | 1,100 | 500 | 45 |
| Zn | 3,000 | 4,200 | 1,850 | 678 |

Tabla 6. Relación de las concentraciones de Pb considerando la Norma francesa y recomendaciones Canadienses y de la US. EPA

| Sitio | Pb total medido mg/kg | Norme AFNOR U44-041 | Ontario y Columbia Británica | | EPA |
|-------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|
| M1 | 135.91 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M2 | 368.09 | Si rebasa | No rebasa | En riesgo | Si rebasa |
| M3 | 195.51 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M7 | 181.82 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M10 | 159.51 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M11 | 160.76 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M13 | 178.00 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M16 | 143.93 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M28 | 135.70 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M29 | 194.20 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M31 | 180.51 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M41 | 81.77 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |
| M42 | 169.52 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | Si rebasa |

Tabla 7. Relación de las concentraciones de Cu considerando la Norma Francesa y los criterios Canadienses y de la US.EPA

| Sitio | Cu total medido mg/kg | Norme AFNOR U44-041 | Ontario y Columbia Británica | | EPA |
|-------|-----------------------|---------------------|------------------------------|-----------|-----------|
| M1 | 230.87 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M2 | 281.13 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M3 | 212.70 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M7 | 160.56 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M10 | 174.82 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M11 | 91.65 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M13 | 326.49 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | En riesgo |
| M16 | 202.15 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M28 | 305.84 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | En riesgo |
| M29 | 274.64 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M31 | 231.86 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M41 | 168.41 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M42 | 162.65 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |

Tabla 8. Relación de las concentraciones de Zn considerando la Norma Francesa y los criterios Canadienses y de la EPA

| Sitio | Zn total medido mg/kg | Norme AFNOR U44-041 | Ontario y Columbia Británica | | EPA |
|-------|-----------------------|---------------------|------------------------------|-----------|-----------|
| M1 | 304.17 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M2 | 155.66 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M3 | 326.67 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M7 | 304.17 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M10 | 166.94 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M11 | 151.02 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M13 | 183.46 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M16 | 213.57 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M28 | 174.86 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M29 | 178.82 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M31 | 405.10 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M41 | 280.36 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |
| M42 | 168.06 | No rebasa | No rebasa | No rebasa | No rebasa |

El poder amortiguador de éstos representa la capacidad que tiene para controlar los efectos negativos de los contaminantes y volverlos inocuos o inactivos. En el caso de los suelos agrícolas se ha definido "Capacidad de Carga para Metales Pesados" (LCASHM: Load Capacity of Agricultural Soils for Heavy Metals) (Cheng et al. 2001), que depende de las propiedades de parámetros ambientales. Los efectos amortiguadores se llevan a cabo por neutralización, degradación biótica o abiótica, precipitación-disolución, oxidación-reducción, formación de complejos orgánicos o insolubilización. Las estructuras altamente polimerizadas son más estables y resistentes a la destrucción, la cantidad máxima admisible de un contaminante, a partir de la que el contaminante está biodisponible en cantidades que pueden ser tóxicas, se llama carga crítica y marca el umbral de toxicidad.

CONCLUSIONES

Si se consideran los criterios US.EPA y de Bowen en las tablas 3 y 4 para suelos, no se rebasan los criterios de EPA, pero si los de Bowen, aunque este autor considera que los valores no son anómalos, no significa que sean buenos para los suelos, sobre todo los agrícolas. al analizar la Norma Francesa, los criterios Canadienses y los de la EPA, en las tablas 6, 7 y 8 para sedimentos y suelos, para Pb el sitio M2 rebasó para la norma francesa, para el criterio de la Columbia Británica está en riesgo y para la EPA todos los valores rebasaron. En el caso del Cu, los sitios M13 y M28 están en riesgo, para Zn

ni la norma, ni los criterios rebasaron los valores. Sin embargo hay que cuidar que no persistan los derrames y analizar con más detalle los jales existentes.

REFERENCIAS

- Bowen, H.J.M. (1979): Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London. ISBN 0-12-120450-2. pp. 333pp
- Cheng, H.M.; Zheng, C.R.; Tu, C. & Zhou, D.M. (2001): Studies on loading capacity of agricultural soils for heavy metals and its applications in China. Applied Geochemistry, 16: 1397-1403.
- E.P.A., United States Environmental Protection Agency (1975). Regulations governing discharge of dredged or filled material in navigable waters. Federal Register, 40: 292-98.
- Flores J. (1992). Les métaux toxiques dans les eaux pluviales en milieu urbain: caractéristiques physico-chimiques. Thèse doctorale. Université Paris XII-Val de Marne.
- Galán H. E, Romero B. A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Conferencia invitada: Galán y Romero, Macla 10 Pp. 48-60. Revista de la sociedad española de mineralogía
- Gil, J. M. (2001). La minería en el noroeste de México: utopía y realidad 1850-1910. México D.F: Plaza y Valdés editors
- Industria de Minería. 4th Mexico International Mining todo sobre la la industria minera (2014)
- Instituto Nacional de Ecología. (n.d.). Industria minera Retrieved (2013). From http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/16/parte3_12.html ECO SITIO. (s.f.). Recuperado el 2013, de <http://www.eco-sitio.com.ar/node/1000>, Gobierno de Hidalgo (n.d.).
- Novotny, V. (1995): Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. In "Heavy Metals", W. Salomons, U. Förstner & P. Mader, eds. Springer-Verlag, Berlin, 33-52.
- Norma FAO/OMS ALINORM 07/30/9D. Comisión del Codex Alimentarius (2007). 30º período de sesiones Sede de la FAO, Roma (Italia), 2-7 de julio.
- Ochoa-Landín L., Pérez-Segura E, del Río-Salas R., Valencia-Moreno M. (2011). Depósitos minerales de Sonora, México, in Calmus, Thierry, ed., Panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano(2013). Panorama Minero del Estado de Sonora
- Seedorf E., Dilles J.; Profeitt; Einaudi M.; Zurcher L.; Stavas W.; Jhonson D.; Barton M. (2005). Porphyry deposits: Characteristics and origenen of hypogene features. In SEG Inc. Economic Geology 100th Anniversary Vol. 2005, pp251-298.
- Seedorf E, and Pirajno, F. (2009) .Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Springer Science+Bussiney Media, p. 358.
- Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano(2013). Panorama Minero del Estado de Sonora
- USEPA (1993). EPA-625-R-93-003a. Subsurface characterization and monitoring techniques, a desk reference guide. Vol I: Solids and ground water. United States Environmental Protection Agency. Manual. Washington, D.C.]
- Tumialán de la C., (2003); Instituto Minero y Geológico (INGEMMET). (Boletín B-10), biblioteca virtual; ingemmet.gob.pe:84/xmlui/handle/123456789/2734. Compendio de Yacimientos Minerales de Perú.
- Webber M.D. (1988). Contrôle de la concentration de métaux lourds dans les sols après épandage de boues d'égout municipales: l'approche canadienne. Science et techniques de l'Eau, 21: 45-51