

## **Contaminación por metales pesados de aguas superficiales en la microcuenca de Zimapán, Hidalgo**

MACEDO-CRUZ, Antonia, VILLEGAS-ROMERO, Isidro, CARRILLO-GONZÁLEZ, Rogelio y TORRES-BAUTISTA, Daniel

A. Macedo<sup>1</sup>, I. Villegas<sup>2</sup>, R. Carrillo<sup>1</sup> y D. Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, México

<sup>2</sup>División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, 56230  
macedoan@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

The studies of the quality of the micro watersheds have acquired great interest in the last decades, given to the increase of the population in its banks, the increasing degree of industrialization and the contributions of the primary sector that appear. The importance of the study of heavy metals in waters and sediments in its high toxicity, high persistence and rapid accumulation by living organisms. Mining activity generates large volumes of waste that are deposited without treatment in open spaces, these constitute a potential risk, but the effects that these sites are causing to natural resources have not been documented by releasing compounds and pollutants between the Heavy metals. The effects of metals found in natural waters can have effects on human health (from benefit intervals to toxic), depending on their concentration, so that their quantification in water bodies as well as dispersion in Surface runoff is important. Concentrations of Cu, Pb in the main channel of the stretch immediately downstream of the population nucleus of the Zimapán Hidalgo micro basin were estimated to determine its longitudinal range and its relation with hydraulic expenditure. Water samples obtained from 7 sampling sites were analyzed, collected during the rainy season from July to September 2014; Were stabilized with HNO<sub>3</sub> to stabilize the pH, digested and later analyzed in a Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrophotometer to know the content of heavy metals. In this paper we present the results of Cu and Pb with a range of concentrations of heavy metals: Cu 0.011-0.051 mg L<sup>-1</sup>, Pb 0.044-0.577 mg L<sup>-1</sup>, reflecting the maximum concentration at sampling sites 5 (Exit point 1), starting to decrease again from those sites, exceeding the maximum allowable levels in some cases.

## 2 Introducción

Los avances de la industria minera en México han consolidado a este país como líder mundial en la producción de metales preciosos como la plata y del oro (SGM, 2013). Esta dinámica del sector está generando avances favorables en la economía regional de los 24 estados de nuestro país dedicados a la minería, entre los cuales se encuentra Hidalgo (INEGI, 2014), en particular el municipio de Zimapán que fue fundado por los recursos minerales de la región.

Debido al crecimiento de la minería también se ha derivado en aumento de los volúmenes de residuos producidos, estos materiales llamados jales mineros son depositados a la intemperie. Estos sitios están causando afectaciones a los recursos naturales al liberar cantidades excesivas de compuestos y elementos contaminantes como los metales pesados, entre los cuales está el Cu y el Pb.

El manejo inadecuado de residuos mineros causa severos problemas ambientales, entre los cuales se pueden mencionar la generación de drenaje ácido de minas acompañado de la liberación de metales pesados. La falla de estructuras de retención de los depósitos que contienen a los residuos de minas, ocasionan derrames que cubren las partes más bajas de las cuencas hidrográficas. Estos residuos se pueden transportar y depositar finalmente en los cauces y cuerpos de agua (Kelly, 1990).

Las concentraciones de metales en los cauces que conforman los escurrimientos superficiales de las regiones mineras pueden permitir el diagnóstico de toxicidad potencial de los mismos, y del riesgo de su ingreso en la cadena trófica; lo anterior se asocia a la posibilidad que tienen algunos de estos elementos de avanzar en la superficie de los cauces (Ramos *et al.*, 2002).

La acumulación y dispersión de metales pesados en el agua y su translocación a las plantas y animales en concentraciones que pueden ser tóxicas, por lo que es un factor de riesgo para la salud regional que debe ser atendido de manera inmediata (Prieto *et al.*, 2009).

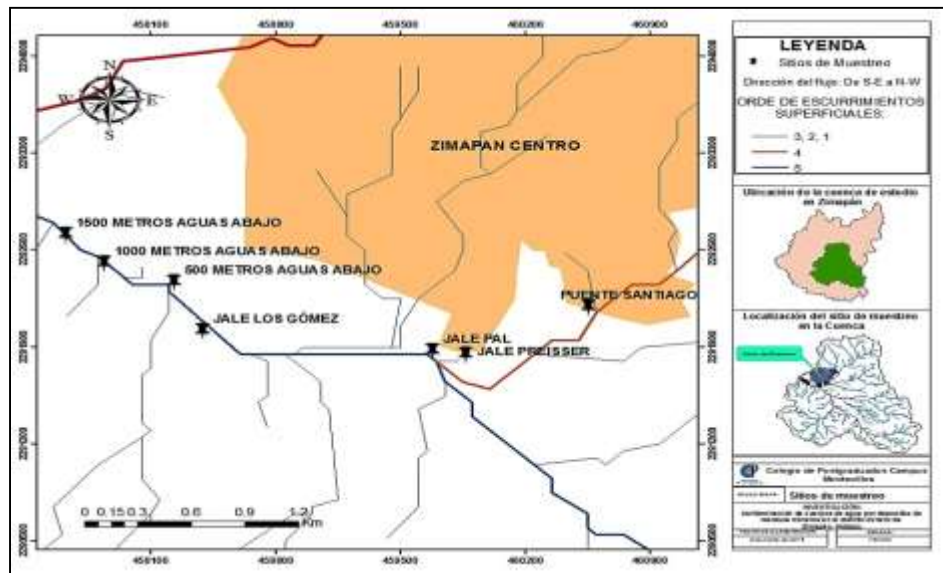
Los depósitos residuales mineros en Zimapán, generan dispersión de partículas finas y lixiviación de residuos que llegan directamente a los escurrimientos superficiales principales, pero no se han cuantificado y no se conocen las concentraciones puntuales de los metales pesados, que se están aportando a los cauces de agua, tampoco su alcance longitudinal y comportamiento químico, situación que no solo puede estar afectando a la población que vive directamente en el municipio sino también a las comunidades aledañas que utilizan los cauces de agua para sus diferentes actividades.

El objetivo de esta investigación fue describir la variación en la concentración de Cu y Pb, en el cauce principal de la microcuenca de Zimapán Hidalgo, para determinar su alcance longitudinal en función de la normatividad ambiental del país, y así ayudar a diseñar medidas de mitigación del impacto derivado de esta problemática y prevenir daños futuros a los núcleos de población, y al ambiente.

## 2.1 Materiales y métodos

Los sitios de muestreo fueron seleccionados en base a los depósitos de residuos mineros de la zona, y georeferenciados con un GPS Garmin Etrex 20. La localización de los puntos de muestreo se muestra en la Figura 2. El aporte de contaminantes por parte de los residuos a los cauces de agua se ve afectada por las lixiviaciones y escurrimientos, por lo que se optó por muestrear en la temporada de lluvia 2014 en Zimapán, Hidalgo, la cual se da en los meses de julio a septiembre.

**Figura 2** Distribución espacial de los sitios de muestreo



\*Datum: WGS 84

Las muestras se tomaron en la parte media del flujo y a la mitad de la profundidad de este. Para reducir el número de muestras se ubicaron tramos del cauce en donde la composición del agua fuera uniforme con la profundidad y la sección transversal, lo que permitió tomar una muestra por cada sitio para lograr confiabilidad y representatividad. Con base en lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001, los recipientes de recolección utilizados fueron botellas de 500 y 1000 mililitros de capacidad, tomando un mínimo de 500 mL de muestra.

Los procedimientos establecidos por la APHA-AWWA-WPCF-1992 y la NMX-AA-051-SCFI-2001 dictaminan que las muestras deben ser transportadas al laboratorio en el menor tiempo posible después de su colecta. Después de ser colectadas, en el traslado y el laboratorio las muestras se mantuvieron en refrigeración a 4°C. Las concentraciones de cobre (Cu), plomo (Pb) se determinaron utilizando el método analítico recomendado por la norma oficial mexicana y NMX-AA-051-SCFI-2001 y por la EPA-Method-6010B, el cual es el de Espectrometría de absorción atómica.

Para la determinación de metales pesados se preparó un volumen de muestra de 100mL de muestra en un matraz Erlenmeyer, al cual se le añadieron de 3 a 5mL de HNO<sub>3</sub> y se llevó a digestión lenta a 110°C evaporando 1/5 parte del volumen inicial; el material digerido se dejó enfriar, posteriormente se lavaron las paredes del Erlenmeyer con 10mL de HCl (5:5) y se colocaron en la campana durante 3 minutos para la liberación de vapores, se vertió el contenido en un matraz aforado a 25 mL y se aforó con agua destilada, se filtró en un papel filtro del número 40 y se le analizó el contenido de metales pesados en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer. Se midió el caudal (Q m<sup>3</sup>/S<sup>-1</sup>) que pasa por la sección transversal de cada sitio de muestreo, con el fin de relacionarlo con el comportamiento, distribución y alcance de las concentraciones de los metales pesados. El método de aforo aplicado fue el de sección-velocidad, midiendo la velocidad por medio del método de flotador.

## 2.2 Resultados y discusión

### 2.2.1 Aforo de la corriente

El caudal varía con la longitud del cauce por lo que se obtuvo un valor distinto en cada uno de los sitios de muestreo, observándose un incremento en el volumen conforme el escurrimiento avanza aguas abajo a partir del punto testigo y hasta el sitio Jales Los Gómez, a partir de ahí se registra un gasto hidráulico siempre menor, lo cual se atribuye a posible pérdida de caudal por infiltración en el lecho del cauce, debido al cambio de materiales geológicos y a la baja velocidad con que se desplaza el flujo de agua en este tramo. El incremento en el caudal se atribuye a varios factores, como la descarga de agua residual de la zona urbana, el aporte de los afluentes secundarios algunos de los cuales provienen de los escurrimientos formados sobre los depósitos de residuos de minas ubicados en el área de drenaje.

### 2.2.2 Concentración de metales pesados en el agua

En la Tabla 2 se presentan las medias aritméticas de las concentraciones para cada contaminante por sitio de muestreo, calculados con el paquete estadístico SAS 9.0.

**Tabla 2** Promedios de las concentraciones de metales pesados por cada sitio de muestreo determinadas con SAS

| Sitio de muestreo | Cobre    |          | Plomo    |          |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
|                   | Promedio | Desv.Est | Promedio | Desv.Est |
| Puente Santiago   | 0.011    | ±0.007   | 0.044    | ±0.014   |
| Jale Preisser     | 0.027    | ±0.008   | 0.209    | ±0.023   |
| Jale Pal          | 0.036    | ±0.003   | 0.275    | ±0.042   |
| Jale Los Gómez    | 0.049    | ±0.007   | 0.577    | ±0.035   |
| Punto de Salida 1 | 0.051    | ±0.009   | 0.574    | ±0.059   |
| Punto de Salida 2 | 0.035    | ±0.008   | 0.349    | ±0.035   |
| Punto de Salida 3 | 0.020    | ±0.003   | 0.283    | ±0.048   |

\*\*\*p<0.001

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones medias, se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA), el cual asume que los datos se ajustan una distribución normal y que las poblaciones presentan homogeneidad de varianza. Antes del análisis de varianza, se aplicó el test de normalidad ( $w=0.938441$ ) de Kolmogorov-Smirnov y el test de homogeneidad de varianza de Bartlett.

Los seis elementos analizados mostraron un patrón de comportamiento muy similar, mostrando un proceso acumulativo sobre el avance del flujo desde su comienzo en el Puente Santiago hasta el jale Los Gómez y el Punto de Salida 1 (500m aguas abajo) en donde se alcanzan las máximas concentraciones para todos los metales. Aguas abajo de los sitios antes mencionados comienza nuevamente la disminución de los niveles de concentración. La influencia directa del vertido de los lixiviados a los flujos superficiales analizados disminuyó.

### 2.2.3 Pluma de concentración en el tramo del cauce

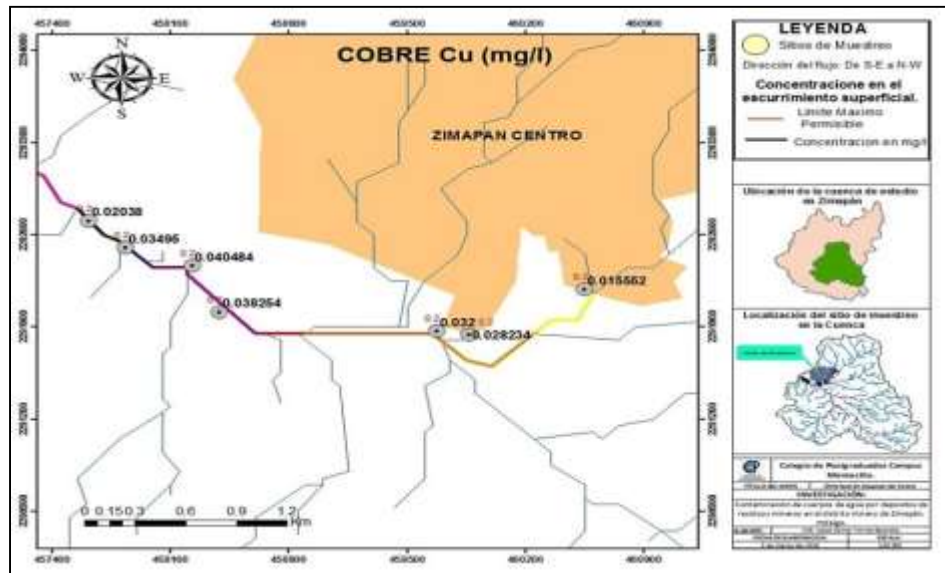
De acuerdo con lo establecido en los lineamientos legales se elaboró un cuadro comparativo (Tabla 2.1), con las concentraciones permisibles que se señalan en cada norma y reglamento para utilizarla como base comparativa y aplicarla a los resultados obtenidos. La información que se utilizó como referencia por ser la más completa es la que establece los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, en su apartado Agua para riego, consumo crudo y bebida de animales.

**Tabla 2.1** Límites máximos permisibles para los contaminantes

| Compuesto o elemento | Criterios ecológicos de la calidad del agua (D.O.F. 13 de diciembre de 1989) |                                  |                |          | Nom 001-semarnat (mg l <sup>-1</sup> ) |                    | Estándares nacionales de calidad ambiental para agua (mg l <sup>-1</sup> ) |   | Nom-127-ssa1-1994 (mg l <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|--|----------------------------------|----------------|----------|--|--------------------|--|---|---|
|                      | Fuente de abastecimiento de agua potable                                     | Recreativo con contacto primario | Riego agrícola | Pecuario | Riego agrícola                         | Uso público urbano | Recreativo con contacto primario   | Agua para riego, consumo crudo y bebida de animales | Agua para consumo humano                |
| Cobre                |  | -                                | -              | -        | 4.00                                   | 4.00               | 2.00   | 0.2   | 2.00                                    |
| Plomo                | 0.05   | -                                | 5.00           | 0.1      | 0.50                                   | 0.20               | 0.01   | 0.05  | 0.01                                    |

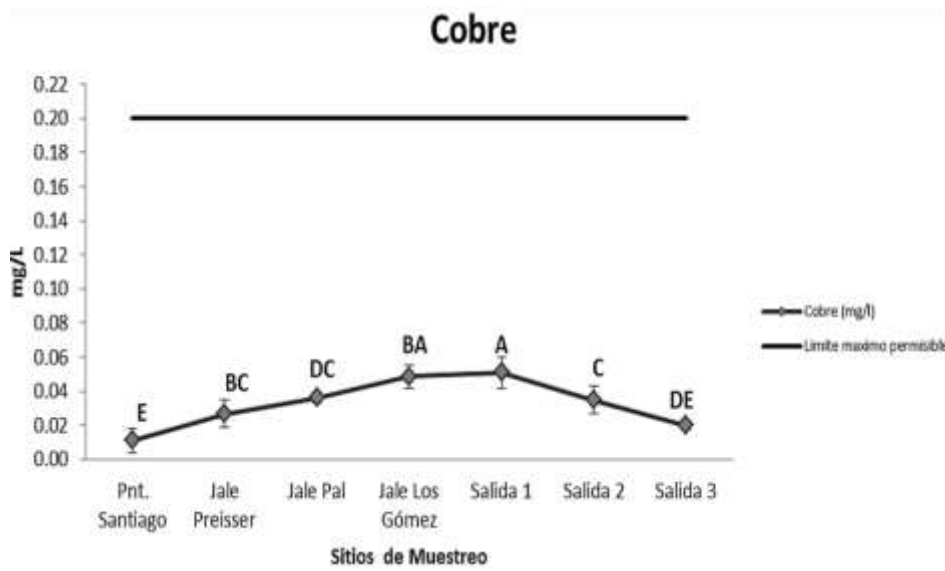
Las concentraciones de Cu presentan una marcada homogeneidad y poco aumento en sus niveles de sitio a sitio, hasta llegar a un máximo de 0.04 mg L<sup>-1</sup> en los depósitos los Gómez y después comienza su disminución. Para todos los casos, las concentraciones son inferiores a los límites máximos permisibles como se muestra en las Figuras 2.1 y 2.2.

**Figura 2.1** Distribución espacial del cobre en los distintos sitios de muestreo



\*Datum: WGS 84

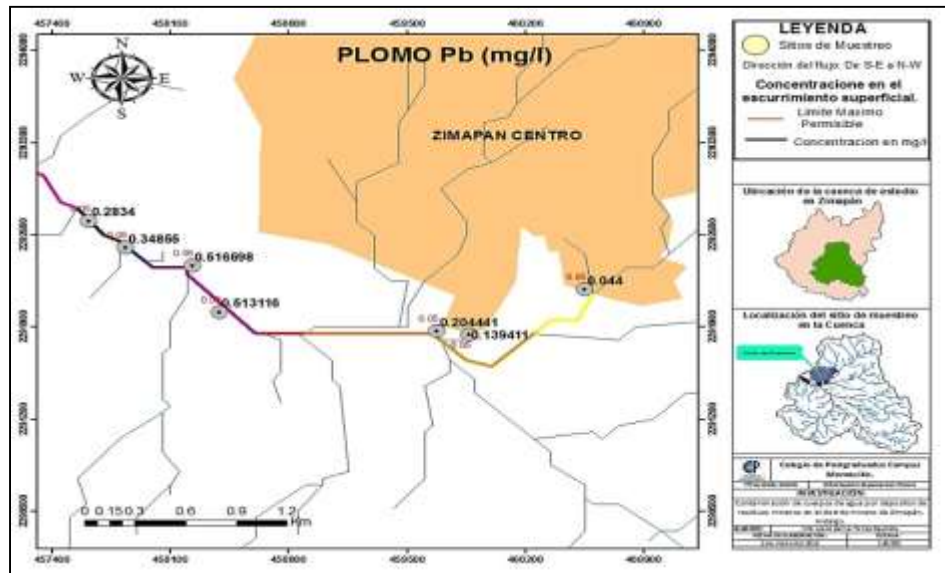
**Gráfico 2** Comportamiento del Cu en los sitios de muestreo



\*Prueba de Tukey: Simbolizada con letras mayúsculas en la gráfica

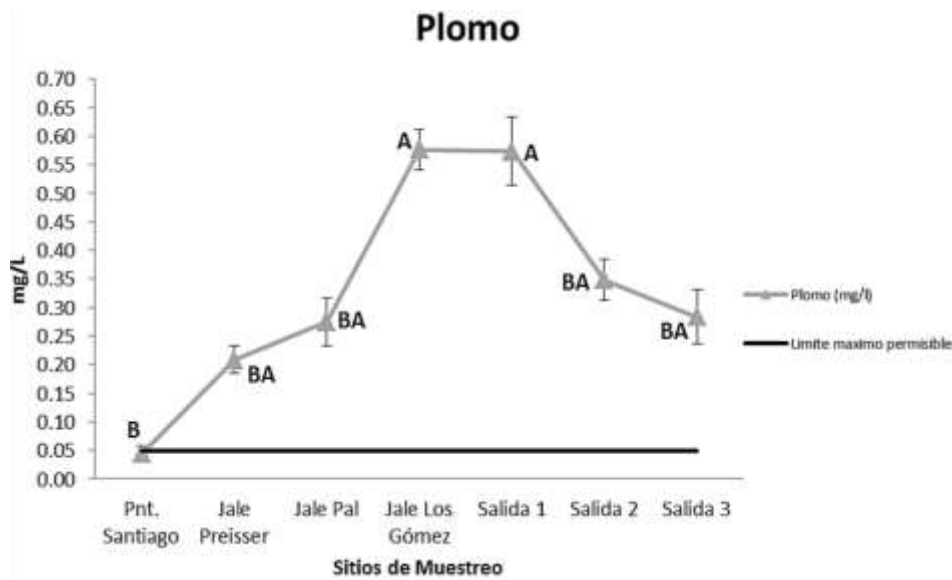
En la Gráfico 2, se observan diferencias estadísticas significativas en todas las concentraciones de los 7 sitios de muestreo, las diferencias estadísticas no son absolutas ya que numéricamente los valores de las medias son muy cercanos unos con otros. Para Pb se observan tendencias hacia concentraciones altas, superiores a los límites máximos permisibles en todas las estaciones a excepción del Puente Santiago, alcanzando la máxima concentración de  $0.5156 \text{ mg L}^{-1}$  en el Punto de Salida 1 y después comienza a disminuir (Gráfico 2 y Figura 2.2), esto debido al aporte de agua residual que las comunidades y el municipio vierten a los cauces. Sin embargo, las concentraciones se incrementan de manera importante cuando el avance del cauce entra a áreas de influencia de los depósitos residuales.

Figura 2.2 Distribución espacial del plomo en los distintos sitios de muestreo



\*Datum: WGS 84

Gráfico 2.1 Comportamiento del Pb en los sitios de muestreo



\*Prueba de Tukey: Simbolizada con letras mayúsculas en la gráfica

En el Gráfico 2.1 se muestra que existen tres grupos de medias con diferencias estadísticas significativas, haciendo notar que las concentraciones entre los Residuos de minas Preisser y Pal, y los Puntos de Salida 2 y 3 no tienen diferencias significativas, demostrando que el punto de salida 3 aun contiene elevadas concentraciones de plomo iguales a las encontradas en los puntos de drenaje de los residuos de minas; lo que demuestra que el plomo es altamente persistente en el ambiente y es un elemento ocupacional.

### 2.3 Conclusiones

- El avance y persistencia del cobre en el cauce alcanza una distancia superior a los 1.5 km aguas abajo del ultimo jale analizado (Jale Los Gómez), debido a que la concentración en el Punto testigo es menor que la encontrada en el Punto de Salida 3.
- La pluma de contaminación del plomo en el cauce, alcanza una distancia superior a los 1.5 km aguas abajo del jale Los Gómez, debido a que la concentración en el Punto testigo es mucho menor que la encontrada en el Punto de Salida 3.

Del conjunto de metales pesados analizados se concluye que solo el Pb, generan una pluma de contaminación mayor a 1.5 km aguas abajo del Jale Los Gómez (último sitio con aporte directo de material residual minero), lo que indica alta persistencia en el agua y alto potencial de afectación a distancias superiores a las previstas en esta investigación; observando que los niveles de las concentraciones están muy por arriba de los límites máximos permisibles de referencia en esta investigación, es recomendable realizar muestreos aguas abajo después del Punto de Salida 3, con el objetivo de determinar el alcance que tienen estos metales y establecer hasta donde es posible que lleguen las afectaciones al ambiente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los elementos que se consideran como contaminantes debido a que sobrepasan los límites máximos permisibles estipulados por las normas ambientales usadas como referencia para esta investigación es el plomo. La razón por la cual las concentraciones obtenidas en el punto testigo presentaron valores que en algunos casos llegando al límite de lo permisible como se observó con el plomo, se debe al vertido de aguas residuales de las comunidades existentes aguas arriba y provenientes del mismo municipio.

### 2.4 Referencias

- INEGI (2014). Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2014. Gobierno del estado de Hidalgo, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- Kelly E.G. and Spottiswod, D.J. (1990). Disposición de las colas. en: Introducción al procesamiento de minerales. (traducción al español por la Ed. Limusa) p.p. 423-427.
- Prieto M.J., González R.C.A., Román G.A.D., Prieto G.F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and subtropical Agroecosystems, vol. 10, núm. 1.
- Ramos C.P. *et al.* (2002). Medio Ambiente, Calidad Ambiental. Ediciones Universidad de Salamanca. Salamanca, España. 368 p.
- SE y CGM (2013). Anuario estadístico de la minería Mexicana 2012. Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería. Servicio Geológico Mexicano. Mexico, México.