



## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de los recursos naturales de nuestro planeta es fundamental para la supervivencia y prosperidad de la sociedad. Sin embargo, la remoción de los recursos de un ambiente a otro para su aprovechamiento genera en cierta manera un impacto en ambos. Los residuos provenientes de la actividad minera es uno de los mejores ejemplos de tal escenario. La presencia de metales pesados y metaloides en los residuos mineros puede causar severos daños al ecosistema incluyendo plantas, animales, microorganismos y la salud humana. Estos efectos pueden ser particularmente serios y pueden causar severos riesgos al entorno ecológico y a la salud humana cuando las actividades mineras se localizan en la vecindad de ambientes urbanos. Por lo tanto es necesario minimizar o mitigar el impacto por la explotación de los recursos naturales (Nazmul Haque, *et al.*, 2007).

Desde el siglo XVI en México se han explotado yacimientos polimetálicos asociados con oro y plata, principalmente en el centro y norte del país. En un principio para la extracción de los elementos metálicos a partir de los minerales se empleó el proceso llamado amalgamación, en el cual se trituraba el mineral para ponerlo en contacto con mercurio y separar los elementos valiosos (oro y plata) llamados “mena”, de los minerales sin valor llamados “ganga”, estos residuos recibieron el nombre de jales<sup>1</sup> y eran depositados en patios aledaños a la mina. Luego, a principios del siglo XIX cuando se cambió este proceso por otro llamado “cianuración”, fue necesario moler el mineral a partículas muy finas, incrementando así el problema ambiental; pues resultaba difícil contener estas partículas en los sitios de almacenamiento, llamados “presas de jales”, pues estaban expuestas a ser arrastradas por el viento y por el agua. Para el siglo XX, surgió un proceso físico-químico llamado “flotación”, el cual requería una etapa de molienda fina para alcanzar el grado de liberación entre los minerales de mena y ganga.

---

<sup>1</sup> Jal proviene del vocablo nahuatl “xali” que significa “arena”.



Con el paso de los años los yacimientos con altas leyes se han agotado y para que esta actividad siga siendo redituable ha sido necesario incrementar la producción, además la demanda de los productos mineros ha sido cada vez mayor debido al crecimiento de algunos países, generando cada vez mayores volúmenes de residuos y sitios de confinamiento más grandes.

Los problemas ambientales asociados a las presas de jales, además de su gran volumen, son la erosión eólica e hídrica y la generación de acidez. La generación de acidez es un proceso natural que se puede presentar en los depósitos que contienen cantidades significativas de sulfuros metálicos (Sengupa, 1993; Ripley, 1996; Lottermoser, 2007).



En algunos casos, predominan los sulfuros como pirita, pirrotita, marcasita, y esfalerita, entre otros, los cuales con el proceso natural de oxidación y el paso del tiempo, generan acidez en los residuos (Lottermoser, 2007, Sengupa, 1993, Environment Australia, 1997).



La presencia de minerales básicos como la calcita o minerales como los aluminosilicatos, hidróxidos o las arcillas, evitan la generación de acidez, ya que causan un efecto de neutralización.



Cuando se presenta generación de acidez en las presas de jales, la acción del ácido sobre los minerales lixivia los metales contenidos y los moviliza contaminando suelos y cuerpos de agua.

Por esta razón los jales depositados en los sitios de confinamiento han sido estudiados de manera particular para conocer su potencial peligrosidad al ambiente. La forma de saberlo es mediante el análisis de su contenido, en busca de elementos metálicos potencialmente tóxicos como As, Cd, Pb, Se, Ni, y otros, y la disponibilidad de los mismos bajo las condiciones del lugar, como acidez, así como la acción del viento y agua.



A nivel mundial se han realizado diversos estudios encaminados a conocer el efecto de los jales en el medio ambiente. En Países como Corea del Sur, Nueva Zelanda, China, Estados Unidos, y otros, se ha estudiado también la concentración de metales en plantas que crecen en depósitos de jales y algunas alternativas para evitar la contaminación de suelos y cuerpos de agua con jales (Chang Peichung, *et al.*, 2005, Moreno Favio, *et al.*, 2005, Chan Gilbert, *et al.*, 2003, Haque Nazmul, *et al.*, 2007).

Actualmente en México, ya se existe una legislación en materia ecológica, fundamentalmente exige se tenga el cuidado necesario para evitar que los desechos de un proceso productivo sean peligrosos al medio ambiente en que sean depositados. La NOM-141-SEMARNAT-2003 establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como los criterios para la selección del sitio, diseño, construcción, operación y postoperación de una presa de jales.

Las empresas mineras al aplicar la normatividad, desarrollaron una rigurosa planeación del cierre de las presas de jales cuando estas todavía se encuentran en operación, estopara garantizar que en la etapa de postoperación, se apliquen las medidas necesarias para brindar estabilidad física y química a la presa, así como evitar la dispersión de los jales.

En México se han hecho diversos estudios en zonas afectadas por la dispersión de los jales; en algunos casos se encontraron rastros de elementos potencialmente tóxicos en estas zonas. También se han estudiado los mecanismos de liberación de los elementos potencialmente tóxicos (EPT) contenidos en ellos, así como los mecanismos de retención que actúan en los suelos contaminados; donde se detectó, que la liberación se presenta por medio de la lixiviación (Ongley, *et al.*, 2007; Romero, *et al.*, 2006; Armienta, *et al.*, 2003; Romero, *et al.*, 2007; Razo, *et al.*, 2004; García, *et al.*, 2004 y Mendoza, *et al.*, 2006).

Una línea de investigación considera que recubrir con materiales naturales y sintéticos ha sido lo más utilizado, aunque el costo en algunos casos resulta elevado (Lotermosser, 2007; Sengupta, 1993; Environment Australia, 1995).



En México se ha preferido el utilizar materiales naturales como roca estéril y posteriormente una capa de suelo natural sobre la cual se promueve el desarrollo de vegetación para reintegrar la presa de jales a las condiciones del entorno.

Las plantas que logran crecer en una presa de jales, contribuyen de manera significativa a la estabilización física del depósito ya que con las raíces permiten la fijación del suelo y reducen la erosión por efecto de la lluvia y el viento. Pero además desarrolla la capacidad de acumular o fijar los metales y metaloides contenidos en los residuos, evitando de esta manera su liberación (Chang, *et al.*, 2005; Visoottivisetha,*et al.*, 2002; Li,*et al.*, 2007; Carrillo y González, 2006)

El presente estudio se llevó a cabo en el estado de Querétaro, en la mina La Negra, ubicada en la localidad de Maconí, en el municipio de Cadereyta. Los residuos de la mina han sido almacenados en cinco presas; tres de ellas han quedado fuera de operación y con el paso del tiempo ha crecido sobre ellas vegetación nativa, la cual se considera puede ser de utilidad para el cierre de las propias presas de jales.

Se propone como hipótesis que las plantas nativas que se observan en las inmediaciones de las presas de jales de la mina La Negra, han desarrollado mecanismos para adaptarse a la presencia de los metales pesados contenidos en los jales, por lo que éstas pueden ser las mejores especies para utilizarse en la reforestación de las presas que aún no están recubiertas y para ser aplicadas en una técnica de fitorremediación en suelos cercanos que hayan sido contaminados.

El objetivo general del estudio es identificar las especies nativas que crecen en las presas de jales de la mina La Negra y evaluar su capacidad para retener o fijar metales, de tal forma que puedan ser utilizadas en la reforestación de las presas activas y ayudar a la estabilidad física y química de estos depósitos.