

CONCENTRACIONES DE AS Y ZN EN VEGETACIÓN NATIVA CERCANA A UNA PRESA DE JALES

Soraya PUGA¹, Manuel SOSA¹, Antonio DE LA MORA², Carmelo PINEDO¹ y Jorge JIMÉNEZ¹

¹Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua, Francisco R. Almada km. 1, Chihuahua, Chih. Méx. C.P. 31031 Correos electrónicos: spuga2002@yahoo.com, msosac@uach.mx, cpinedo@uach.mx, jajimenez@uach.mx

²Unidad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Henri Durant 4016, Circuito Pronaf. Cd. Juárez 32310 Chih. México. Correo electrónico: adelamor@uacj.mx

(Recibido noviembre 2005, aceptado agosto 2006)

Palabras clave: plantas, jales, Zn, As, contaminación, minas

RESUMEN

Las plantas que se encuentran en las cercanías a las presas de jales concentran por diferentes vías elementos potencialmente tóxicos (EPT), lo que puede representar un problema ambiental en estos ecosistemas. El objetivo de este estudio fue analizar la concentración total de arsénico (As) y de cinc (Zn) en plantas dominantes en sitios ubicados a diferentes distancias de la presa de jales. El estudio se realizó en el municipio de San Francisco del Oro, al sur del estado de Chihuahua. Se muestrearon dos plantas dominantes en 10 sitios a una equidistancia de 300 m a partir de las presas de jales en dirección a los vientos dominantes. Las plantas se separaron en raíces, hojas y tallos, para un total de 60 muestras. Se tomaron como referencia datos de un estudio previo de muestras de suelo de 0 a 20 cm en cada uno de los sitios. Las muestras se sometieron a un proceso de digestión y se analizaron mediante un espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruros para As y ICP-OES para el Zn. Se realizaron análisis de varianza y prueba de medias (ANOM $P < 0.05$) donde las variables fueron: distancia a la fuente y partes de la planta. Los resultados muestran que a medida que las plantas están más alejadas de las presas de jales sus niveles de concentración de As y Zn disminuyen, al igual que en el suelo. Las hojas son las que concentran más estos elementos. El huizache (*Acacia farnesiana*), el táscate (*Juniperus deppeana*), la jarilla (*Baccharis glutinosa*), el mesquite (*Prosopis juliflora*) y el zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*) son las especies que presentaron las concentraciones más altas. No se encontraron evidencias de daños físicos en las plantas. Se halló lo esperado, es decir, que existe una tendencia de las plantas estudiadas a concentrar más As y Zn al estar cerca de la presa de jales.

Key words: plants, tailings, Zn, As, pollution, mines

ABSTRACT

Plants that grow near mine tailings can accumulate by different ways potentially toxic elements (PTE) that can represent environmental problems in the ecosystems. The

objective of this study was to analyze the total concentration of Arsenic (As) and Zinc (Zn) in the dominant plants in study sites located at different distances from mine tailings. The study was carried out in San Francisco del Oro Municipality, south of the State of Chihuahua, México. Samples were taken from two dominant plants in 10 sites at an equidistance of 300 m beginning with mine tailings downward following the direction of the wind. The sampled plants were separated into roots, leaves and stems to make up a total of 60 samples. Soil samples were also obtained from 0 to 20 cm in depth in each site according to a study previously done. All samples went through a digestive process and were analyzed in an atomic absorption spectrophotometer with hydride generator for As and ICP-OES for Zn. A variance analysis was obtained as well as the means separation test (ANOM $P < 0.05$) in which the variables measured were distance to the source and plants parts. The results showed that the further away the plants grow from the mine tailings the less As and Zn tend to accumulate in the plant tissues, and the less contaminated is the soil. Leaves tend to accumulate more of these elements. *Acacia farnesiana*, *Juniperus deppeana*, *Baccharis glutinosa*, *Prosopis juliflora* and the grass species *Cynodon dactylon* were the plant species found with higher concentrations. No physical damages were found on the plants. It is concluded that there is a tendency for the studied plants to accumulate more As and Zn when growing closer to the mine tailings.

INTRODUCCIÓN

Las plantas cercanas a presas de jales producto de la industria minera, establecidas en suelos contaminados, pueden concentrar en algunas de sus partes elemento potencialmente tóxico (EPT). La estructura que presenta el material del jal es muy fina y por lo tanto sumamente susceptible de ser removida por agentes como el agua y el aire, lo que propicia su dispersión y acumulación tanto en el suelo como en los organismos vivos.

Esta situación está causando gran inquietud entre los pobladores de la región sur del estado de Chihuahua, quienes han mostrado su inconformidad a la empresa minera con el fin de resolver este problema.

La mayoría de los estudios de jales en zonas alcalinas donde no se forma drenaje ácido indican solubilidades extremadamente bajas de EPT. El mayor problema para la salud humana son los polvos que generan y para los suelos las sales de sodio. El material de las presas de jales, dependiendo de su composición y de la disponibilidad de sus compuestos de las rutas de transporte, las vías de entrada a los organismos y la biodisponibilidad, puede representar un riesgo para la biota, incluyendo a los humanos.

Por su alto contenido de sales de sodio y la formación de drenaje ácido pueden también representar un riesgo para los suelos y cuerpos de agua de los alrededores e inhibir la vegetación. Cuando los compuestos químicos que contienen los EPT, liberan al ambiente especies en forma soluble que pueden ser

adsorbidas y absorbidas por las plantas y bacterias, se puede generar un problema fuerte de contaminación de los recursos. La toxicidad de los metales está influenciada por diferentes factores como la forma química del elemento tóxico, la química del ambiente y las diferencias en la susceptibilidad de los organismos (Freedman 1995).

De esta forma los EPT, por su capacidad de coordinación con la mayoría de los elementos, pueden bloquear la acción de minerales y enzimas necesarios para el desarrollo de funciones orgánicas vitales, esto obliga a que procesos metabólicos normales tomen rumbos degenerantes. La mayoría de los efectos de toxicidad en las raíces de las plantas son a nivel fisiológico y existen evidencias de carácter morfofisiológico que permiten medir el daño, aunque la mayoría de las veces no se pueda identificar el elemento responsable (Peralta *et al.* 1993).

La vegetación puede ser usada como un indicador útil de la concentración de metales pesados en un medio donde la raíz consume metales que pueden integrarse al ambiente a escalas espacial y temporal (Pugh *et al.* 2002).

La mayoría de las plantas son muy sensibles a los EPT que se encuentran en forma soluble en el suelo y cuando su concentración supera sus mecanismos de defensa pueden experimentar daños importantes. La resistencia a los metales puede llevarse a cabo mediante mecanismos de evasión o tolerancia. Levitt (1980) define a la evasión como la capacidad para prevenir el consumo excesivo de metales y a la tolerancia como la habilidad de enfrentar a los metales que son acumulados en alguna parte de la planta.

El análisis de los elementos traza en las plantas leñosas se enfoca a las hojas, ya que de ahí se transfieren a la cadena alimenticia y los elementos son reciclados a través de la hojarasca o la materia orgánica (Nissen y Lepp 1997).

Las minas generan áreas con disturbios que son caracterizadas por poca vegetación o ninguna. Las plantas pueden ser selectivas o no a la bioacumulación de metales y metaloides, dándose generalmente una recolonización por plantas tolerantes a los metales (Ashley *et al.* 2003).

Concentraciones altas de metales en las soluciones del suelo pueden provocar inhibición en la elongación y en el desarrollo de las raíces (Punshon 1996), sin embargo, existe vegetación resistente que se adapta a estos ambientes con elevadas concentraciones de metales pesados y puede colonizar estas áreas (Shaw 1990). Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar las concentraciones totales de arsénico (As) y cinc (Zn) en raíces, hojas y tallos de plantas dominantes en sitios a diferentes distancias de las presas de jales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en la parte sur del estado de Chihuahua, en la cabecera del municipio de San Francisco del Oro, donde se localiza una compañía minera que cuenta con dos presas de jales, una sin uso, que cubren una superficie aproximada de 140 ha. La altitud promedio es de 2,140 msnm. Las coordenadas geográficas son 26° 52' de latitud y 105° 51' de longitud. La vegetación está constituida por la asociación de pastizal amacollado con bosque de encino y tásate, con matorral espinoso en las partes bajas. El clima del área está catalogado como templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media de 16 °C y precipitación promedio de 500 mm.

La investigación se realizó en el área de influencia de las presas de jales, abarcó 3 km en dirección a los vientos dominantes. La toma de muestras de vegetación se hizo en 10 sitios en el área mencionada a una distancia de 300 m entre un punto y otro a partir de la presa de jales, esto es a 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2400, 2700 y 3000 m. Las dos especies dominantes de cada sitio fueron colectadas en bolsas de papel, posteriormente estas se dividieron en raíces, hojas y tallos, siendo un total de 60 muestras.

Las muestras se lavaron con agua potable libre de los elementos estudiados para eliminar impurezas, después se secaron en una estufa a 50 °C por 5 días,

posteriormente se molieron en un molino eléctrico (Cyclotec 1093 Sample Mill Tecator) hasta obtener una muestra pulverizada.

El método de digestión de las plantas se realizó pesando 0.5 g de muestra en un vaso de precipitado de 250 mL, se adicionaron 10 mL de HNO₃ y se colocó en la parrilla de calentamiento a una temperatura de 60 °C hasta su digestión total. Se agregaron 20 mL de agua desionizada, se dejó enfriar, se filtró con papel whatman No. 2 recibiendo el filtrado en un matraz volumétrico de 100 mL. Posteriormente se aforó a este volumen. El análisis elemental se llevó a cabo en un espectrofotómetro de absorción atómica GBC modelo Avanta S, con sistema de generador de hidruros para el As; el Zn se analizó con un espectrómetro de emisión por plasma óptico ICP-OES de la marca Termo Jarell Ash Modelo Iris, calibrando el instrumento con materiales de referencia certificados con trazabilidad a Cenam ó Nist, que son organismos certificadores reconocidos internacionalmente.

Se seleccionaron As y Zn como elementos trazadores de la contaminación, tomando como base un estudio previo de suelo, en proceso de publicación, realizado en los sitios de estudio. Las concentraciones totales de As variaron entre 552.66 y 4,222.78 ppm, mientras que las de Zn entre 1,086.90 y 3,361.50 ppm. Los suelos tienen un pH que va de 6.55 a 7.29 ligeramente ácido a neutro, con una textura arenarcillosa.

Las especies estudiadas fueron *Prosopis juliflora*, *Baccharis glutinosa*, *Acacia farnesiana*, *Juniperus deppeana*, *Mimosa dysocarpa*, *Cynodon dactylon*, *Quercus emoryii* y *Celtis reticulata*.

Se hizo un análisis de varianza en donde las variables de respuesta fueron As y Zn considerando como tratamientos a los sitios (distancia a la fuente de exposición) y partes de la planta (raíces, hojas y tallos), realizando una prueba de medias para las variables que resultaron significativas (ANOM para distribución normal) a un nivel de significancia $p < 0.05$, utilizando el programa estadístico MINITAB™ versión 14.0.

RESULTADOS

Arsénico

La variable sitio, que se obtuvo del promedio de la concentración total de As de las raíces, hojas y tallos de las plantas analizadas, no fue significativa ($p < 0.131$). En los resultados que se muestran en el **cuadro I** se observa que el sitio 1 tuvo el valor más alto con un promedio diferente estadísticamente a los

CUADRO I. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO (ppm) EN LOS SITIOS A DIFERENTES DISTANCIAS DE LAS PRESAS DE JALES

| Sitio | Distancia al jal (m) | Promedio ¹ |
|-------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 300 | 23.67 a |
| 2 | 600 | 13.23 b |
| 3 | 900 | 17.03 b |
| 4 | 1,200 | 5.00 c |
| 5 | 1,500 | 3.36 c |
| 6 | 1,800 | 7.54 c |
| 7 | 2,100 | 1.94 c |
| 8 | 2,400 | 2.65 c |
| 9 | 2,700 | 3.55 c |
| 10 | 3,000 | 1.39 c |

¹Letras diferentes en la columna, muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05

demás sitios, esto debido a la cercanía con la presa de jales. Los sitios 2 y 3, son semejantes entre sí, pero diferentes estadísticamente a los demás. El sitio 3 presenta niveles de 17.03 ppm de As, debido a que se encuentra cercano al arroyo, por lo que la cantidad de material arrastrado de los jales es mayor, siendo la concentración en el suelo la más alta con 4,222.78 ppm. Al respecto la EPA (1992) señala como excesiva fitotoxicidad concentraciones de As en plantas

entre 5 y 20 ppm; Bowen (1979) describe el umbral de As en un rango de 0.02-7.5 ppm, mientras que Wantanabe (1997) y Reeves y Baker (2000) definen como planta hiperacumuladora la que puede concentrar por lo menos 100 mg kg⁻¹ de As y Chaney (1989) señala de 3 a 10 ppm. En el resto de los sitios las concentraciones son similares entre sí, presentado valores bajos, esto en virtud de que a medida que la distancia es mayor a la fuente de origen, las concentraciones van disminuyendo en los sitios, con algunas variaciones como sucede en el sitio 6.

La variable parte de la planta resultó no significativa ($p < 0.342$), esto debido a la diversidad de especies encontradas, las que tuvieron comportamientos muy variables. No obstante, los valores promedio señalan una clara tendencia a la acumulación mayor de As en las hojas con 11.329 ppm, seguida de 7.962 para raíz y 4.519 ppm para tallo. La interacción sitio-parte de planta no resultó significativa.

Las concentraciones de As en las plantas estudiadas y separadas por raíces, hojas y tallos, se observan en el **cuadro II**. Se encontraron especies con altas concentraciones de As, tal es el caso de la jarilla (*Baccharis glutinosa*), que fue dominante en los sitios 1 y 2, con valores promedio de 68.85 ppm para las hojas y de 12.52 ppm en la raíz. Es importante señalar que esta especie en el sitio 1 alcanzó un valor

CUADRO II. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO (ppm) EN HOJA, TALLO Y RAÍZ DE LAS ESPECIES VEGETALES DOMINANTES EN LOS SITIOS

| Sitio | Especie dominante | Nombre | Parte de la planta | | |
|-------|-------------------|----------------------------|--------------------|-------|-------|
| | | | Raíz | Hoja | Tallo |
| 1 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 20.34 | 14.27 | 11.63 |
| 1 | 2 | <i>Baccharis glutinosa</i> | 4.68 | 88.23 | 2.87 |
| 2 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 3.70 | 2.13 | 2.40 |
| 2 | 2 | <i>Baccharis glutinosa</i> | 2.37 | 49.48 | 1.27 |
| 3 | 1 | <i>Acacia farnesiana</i> | 43.85 | 12.19 | 3.62 |
| 3 | 2 | <i>Juniperus deppeana</i> | 2.17 | 12.57 | 27.74 |
| 4 | 1 | <i>Acacia farnesiana</i> | 6.34 | 5.45 | 12.63 |
| 4 | 2 | <i>Prosopis juliflora</i> | 2.33 | 1.04 | 2.21 |
| 5 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 2.70 | 2.86 | N.D. |
| 5 | 2 | <i>Mimosa dysocarpa</i> | 3.01 | 5.38 | 6.21 |
| 6 | 1 | <i>Cynodon dactylon</i> | 27.55 | 10.71 | N.A. |
| 6 | 2 | <i>Acacia farnesiana</i> | 1.78 | 3.34 | 0.92 |
| 7 | 1 | <i>Acacia farnesiana</i> | 0.49 | 1.95 | 0.43 |
| 7 | 2 | <i>Quercus emoryii</i> | 4.17 | 2.94 | 1.61 |
| 8 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 2.92 | 2.41 | 3.47 |
| 8 | 2 | <i>Juniperus deppeana</i> | 0.61 | 2.87 | 3.61 |
| 9 | 1 | <i>Juniperus deppeana</i> | 1.53 | 3.73 | 2.31 |
| 9 | 2 | <i>Celtis reticulata</i> | 7.85 | 1.55 | 4.30 |
| 10 | 1 | <i>Quercus emoryii</i> | 2.13 | 0.97 | 1.19 |
| 10 | 2 | <i>Acacia farnesiana</i> | 0.64 | 2.41 | 0.38 |

N.D. No se detectó

N.A. Se analizó junto con hojas

de 88.231 ppm de As en las hojas, considerado como extremadamente elevado. Otra especie que presentó concentraciones altas de As fue el zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*) en la que por razón de su estructura sólo se analizaron hojas y raíces, siendo en esta última donde se obtuvo una concentración de 27.55 ppm, cantidad que sobrepasa el rango máximo para una planta y es considerada como excesivamente fitotóxica. Esta especie se encontró sólo en el sitio 6 por lo que la distancia a la presa de jales fue de 1,800 m, no obstante la distancia su concentración fue alta.

El táscate (*Juniperus deppeana*) que es utilizado como poste para cercar, fue encontrada como dominante en 3 sitios. En el sitio 3 cercano al arroyo a una distancia de 900 m de la fuente de exposición presentó valores de acumulación de As de 27.74 ppm en el tallo y de 12.57 ppm en las hojas, comportamiento diferente a la mayoría de las especies que acumulan mayormente estos elementos en las hojas, disminuyendo en forma importante sus concentraciones a medida que se alejan de la fuente de contaminación.

El huizache (*Acacia farnesiana*), en el sitio 3 presentó concentraciones de As de 43.85 ppm en la raíz y de 12.19 ppm en las hojas que disminuyen cuando se encontró en el sitio 4 y sigue esa tendencia a medida que se aleja de los jales, teniendo valores muy bajos de concentración (0.964 ppm en promedio en la planta) cuando se encontró en el sitio 7 a 2,100 m de distancia de los jales.

El mezquite (*Prosopis juliflora*) es una planta de amplio rango ecológico, presente en ecosistemas semi-desérticos y en áreas de pastizales, consumida por el ganado y la fauna silvestre. Los niveles de As que acumuló en el sitio 1 están dentro de los rangos señalados como peligrosos, ya que sus concentraciones van de 20.244 en raíz, 14.277 en hoja y 11.632 ppm en tallo. En este sitio 1 la concentración de As en suelo fue de 2158.98 ppm, sin embargo, a mayor distancia de los jales, como fue en los sitios 2, 4, 5 y 8, el As estuvo presente en niveles bajos.

El gatuño (*Mimosa dysocarpa*) se mantuvo en el límite señalado por la EPA (1992) entre 5 y 6 ppm de As en hojas y tallos. En el resto de las especies el As apareció en todas ellas, pero en pequeñas concentraciones.

Cinc

Para este metal la variable sitio fue significativa ($p < 0.05$), en el **cuadro III** podemos observar que los sitios 1, 2, 3 y 6 son diferentes estadísticamente del resto. Los valores promedio encontrados en los

CUADRO III. CONCENTRACIONES DE CINCO (ppm) EN LAS DIFERENTES PARTES DE LA PLANTA EN RELACIÓN A LOS SITIOS

| Sitio | Distancia al jal (m) | Promedio ¹ |
|-------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 300 | 136.370 a |
| 2 | 600 | 151.310 a |
| 3 | 900 | 119.426 a |
| 4 | 1,200 | 79.930 b |
| 5 | 1,500 | 62.490 b |
| 6 | 1,800 | 110.020 a |
| 7 | 2,100 | 28.966 b |
| 8 | 2,400 | 46.246 b |
| 9 | 2,700 | 70.146 b |
| 10 | 3,000 | 30.816 b |

¹Letras diferentes en la columna, muestran diferencias estadísticas a un nivel de 0.05

sitios mencionados están dentro del rango señalado por la EPA (1992) que menciona concentraciones para Zn como excesivamente fitotóxicas entre 100 y 400 ppm. El resto de los sitios está por debajo de estos niveles.

La tendencia de los sitios muestra en general una disminución de la concentración de este metal a medida que se aleja de la presa de jales.

Para las partes de las plantas el nivel de significancia fue de $p < 0.014$, con valores promedio de 120.750 ppm de Zn para las hojas, de 50.559 para tallos y de 83.595 para raíces, siendo el contenido de Zn en las hojas diferente estadísticamente ($p < 0.05$) al de tallos y raíces, que fueron iguales entre sí. La tendencia en cuanto al contenido de Zn en las partes de la planta fue similar a la del As. La interacción sitio-parte de la planta no resultó significativa.

La especie que mayor concentración de Zn mostró fue el zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*) con 302.18 ppm en la hoja y 225.81 ppm en la raíz (**Cuadro IV**). Este resultado señala a esta especie con niveles muy altos de concentración, no obstante encontrarse en el sitio 6 a 1,800 m de la presa de jales, coincidiendo con lo señalado por Madejón *et al.* (2001), que la cataloga como acumuladora de Zn y remediadora de suelos.

La jarilla (*Baccharis glutinosa*) mostró niveles importantes de Zn en los dos sitios donde fue dominante. En el sitio 1, en la hoja concentró 361.46 ppm y 109.50 ppm en el tallo, mientras que en el sitio 2 acumuló 240.58 ppm en las hojas y 166.40 ppm en la raíz. Esto demuestra que la acumulación de Zn en la jarilla se realiza indistintamente en cualquier parte de la planta y se la puede catalogar como una planta muy acumuladora de este metal.

CUADRO IV. CONCENTRACIONES DE CINCO (ppm) EN RAÍZ, HOJA Y TALLO DE LAS ESPECIES VEGETALES DOMINANTES EN LOS SITIOS

| Sitio | Especie dominante | Nombre | Parte de la planta | | |
|-------|-------------------|----------------------------|--------------------|--------|--------|
| | | | Raíz | Hoja | Tallo |
| 1 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 147.20 | 19.19 | 128.89 |
| 1 | 2 | <i>Baccharis glutinosa</i> | 52.00 | 361.46 | 109.50 |
| 2 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 52.12 | 314.15 | 87.90 |
| 2 | 2 | <i>Baccharis glutinosa</i> | 166.40 | 240.58 | 46.71 |
| 3 | 1 | <i>Acacia farnesiana</i> | 113.35 | 207.01 | 52.06 |
| 3 | 2 | <i>Juniperus deppeana</i> | 25.16 | 206.24 | 112.71 |
| 4 | 1 | <i>Acacia farnesiana</i> | 138.40 | 108.33 | 69.89 |
| 4 | 2 | <i>Prosopis juliflora</i> | 43.84 | 73.20 | 45.93 |
| 5 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 78.87 | 97.01 | 13.94 |
| 5 | 2 | <i>Mimosa dysocarpa</i> | 70.22 | 87.17 | 27.76 |
| 6 | 1 | <i>Cynodon dactylon</i> | 225.81 | 302.18 | N.A. |
| 6 | 2 | <i>Acacia farnesiana</i> | 32.20 | 49.43 | 25.26 |
| 7 | 1 | <i>Acacia farnesiana</i> | 23.20 | 33.48 | 23.30 |
| 7 | 2 | <i>Quercus emoryii</i> | 103.77 | 24.74 | 23.51 |
| 8 | 1 | <i>Prosopis juliflora</i> | 64.48 | 70.71 | 29.42 |
| 8 | 2 | <i>Juniperus deppeana</i> | 46.36 | 37.80 | 28.71 |
| 9 | 1 | <i>Juniperus deppeana</i> | 82.80 | 65.67 | 42.34 |
| 9 | 2 | <i>Celtis reticulata</i> | 136.58 | 41.35 | 52.13 |
| 10 | 1 | <i>Quercus emoryii</i> | 50.00 | 20.43 | 7.82 |
| 10 | 2 | <i>Acacia farnesiana</i> | 19.08 | 54.79 | 32.78 |

N.A. Se analizó junto con hojas

Otra especie que presentó niveles altos de acumulación de Zn fue el mezquite (*Prosopis juliflora*) el cual se encontró en 5 sitios, presentando los valores más altos en los 2 primeros (**Cuadro IV**). En el sitio 2, alcanzó un valor de 314.150 ppm en las hojas, cercano al límite máximo que menciona la EPA (1992), en el sitio 1 la raíz y el tallo tuvieron las concentraciones más altas con 147.200 y 128.891 ppm, respectivamente, mientras que las hojas sólo alcanzaron 19.195 ppm. En los sitios más retirados a la presa de jales sus concentraciones estuvieron por debajo de los límites considerados como tóxicos.

El granjel (*Celtis reticulata*) no obstante encontrarse en el sitio 9, distante a 2,700 m de los jales, tuvo un nivel de concentración de 136.581 ppm en la raíz, con niveles de alrededor de 50 ppm en las hojas y tallos, a diferencia de la mayoría de las especies que tienden a acumular Zn mayormente en las hojas.

El huizache (*Acacia farnesiana*) en el sitio 3 tuvo una acumulación alta de Zn en las hojas con 207.01 ppm y 113.35 ppm en la raíz, mientras que en el sitio 4 la raíz tuvo mayor acumulación que las hojas (138.40 vs. 108.33 ppm), siendo estas dos partes indistintamente las de mayor concentración de Zn. También se observa que a medida que los sitios son más lejanos de la fuente de contaminación, los niveles de Zn disminuyen en forma importante.

El resto de las especies estuvieron dentro de los

rangos aceptables de acumulación de Zn, con excepción del encino (*Quercus emoryii*) que en su raíz alcanzó 103.77 ppm.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que algunas plantas estudiadas presentaron niveles considerados como fitotóxicos. Sin embargo, estas plantas no presentan apariencia de daños físicos, posiblemente han desarrollado ciertos mecanismos bioquímicos que les permiten evadir su acción tóxica, como la depositación de estos EPT en la pared celular, el enlace a grupos -SH en el límite del citoplasma, el aislamiento en algunos compartimientos celulares, la formación de complejos con ácidos orgánicos, fenoles y otros compuestos orgánicos en la vacuola (Hernández 2001). El que las plantas no presenten daños sugiere que algunas de las especies estudiadas pudieran tomarse en cuenta para investigaciones posteriores sobre biorremediación de suelos contaminados. Según Baird (1999) estas especies lo pueden hacer mediante los mecanismos siguientes: el consumo directo de los contaminantes y su acumulación dentro de los tejidos, liberando en el suelo oxígeno y enzimas que estimulan la biodegradación de los contaminantes y su incremento por hongos y otros microorganismos localizados en la interfase suelo-raíz.

Las concentraciones mayores de As y Zn se encontraron en plantas ubicadas en los sitios 1, 2 y 3, que son también los que tienen los niveles más altos de esos elementos en el suelo. Sin embargo esas plantas han logrado sobrevivir por muchos años en esta zona contaminada por los jales sin sufrir daño aparente. Al respecto Hernández (2001) señala que ciertas plantas tienen la habilidad de desarrollar resistencia contra daños ocasionados por metales pesados, por un carácter fijado genéticamente, pero modificable por adaptación. Prahalad y Seenayya (1988) mencionan que cuando la concentración de Zn en solución aumenta, la concentración en las células es mantenida en un valor constante, demostrando las plantas la habilidad para mantener concentraciones de metales sin sufrir daño.

En algunas plantas se ha hallado una correlación directa entre el grado de exposición a un metal pesado y su tolerancia, como lo señalan Kalandadze (2003), García *et al.* (1999), Kim y Kim (1996) y Smith *et al.* (1998) que menciona al zacate pata de gallo como una especie que presenta esta respuesta, tal y como resultó en este estudio.

Las concentraciones de As y Zn fueron mayores en las hojas, seguidas de la raíz y tallos, sin embargo, varias especies presentaron un comportamiento diferente, acumulando estos elementos en mayor cantidad en la raíz o en el tallo, esto indica que la fisiología de las plantas, en lo que a concentración de estos metales se refiere, puede variar dependiendo de la especie de que se trate, lo que coincide con lo señalado por Brooks (1983) que menciona que las plantas varían en su habilidad para acumular elementos del suelo.

El huizache (*Acacia farnesiana*), especie que apareció como dominante en 3 sitios, varió su comportamiento en cada uno de ellos, ya que presentó mayores concentraciones totales de As tanto en raíz, como en tallo y en hojas; en forma similar se presentó el contenido de Zn en el sitio 4 que tuvo mayor concentración en la raíz, que en hojas y tallo, coincidiendo con Brooks (1998) y Siegel (2002) quienes señalan que la concentración de un elemento varía de un órgano a otro de la planta.

La jarilla (*Baccharis glutinosa*) que se localiza en lugares cercanos a ríos, arroyos, escurrimientos superficiales y es una especie indicadora de aguas subterráneas, presentó contenidos elevados de As y de Zn en las hojas, los cuales al igual que en el resto de las especies estudiadas pudieron ser absorbidos o adsorbidos. Esta especie al tirar sus hojas en los ríos y arroyos, puede contaminarlos y llevar esta contaminación a los cuerpos de agua ya que los metales

pueden ser arrastrados por aguas superficiales (Madrid *et al.* 2003).

El zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*), la única gramínea estudiada, presentó niveles muy altos de Zn, tanto en hojas como en raíz y niveles altos de As en raíz y hojas, siendo una especie consumida por el ganado doméstico y la fauna silvestre, se convierte en un problema dentro de la cadena trófica, por la posibilidad de transmitir estos metales a sus consumidores; al respecto, Ashley *et al.* (2003) mencionan que las áreas alteradas por la minería se caracterizan por carecer de vegetación nativa, selectiva y no selectiva, realizar bioacumulación de metales y metaloides dentro de la planta y darse una recolonización parcial por especies tolerantes a los metales como es la planta *Cynodon dactylon*. Madejón *et al.* (2001) mencionan que la especie *Cynodon* es utilizada como planta remediadora de suelos ya que resiste altas concentraciones de Zn. Mientras que Smith *et al.* (1998) mencionan haber encontrado el *Cynodon* en suelos con altas concentraciones de As, tal y como sucedió en este estudio.

CONCLUSIONES

Existe una relación entre la distancia a la presa de jales y la acumulación por posible adsorción y absorción de As y Zn en las plantas, ya que a medida que se alejan de la fuente de contaminación, disminuye la concentración.

La mayor concentración de los elementos estudiados se da en las hojas, seguidas de la raíz y del tallo, con excepción del mezquite, que acumula estos elementos mayormente en la raíz y el táscate que acumula el As preferentemente en el tallo y al Zn en la raíz, mientras que el huizache, lo hace indistintamente en hojas, tallo y raíz.

La jarilla presentó altas concentraciones totales de As y Zn, por lo que puede representar un problema en áreas contaminadas por minas, como en este caso, ya que fue colectada a la orilla de un arroyo, donde se establece regularmente.

El zacate pata de gallo, tuvo niveles muy altos de Zn, tanto en hojas como en raíz y niveles altos de As en la raíz y hojas, y dado que es una gramínea consumida por el ganado y la fauna silvestre, puede afectar en forma importante la cadena alimenticia en la zona de estudio debido a que es el pasto de mayor presencia.

No obstante los resultados obtenidos, no se observan daños en las especies estudiadas por la presencia de estos EPT, posiblemente debido al nivel de adapta-

ción ya que durante varias generaciones han estado en contacto con esta fuente de contaminación.

REFERENCIAS

- Ashley P.M., Lottermoser B.G. y Chubb A.J. (2003). Environmental geochemistry of the Mt. Perry copper mines area, SE Queensland Australia. *Geochem: Explor. Environ. Anal.* 3, 345-357 p.
- Baird C. (1999). *Environmental Chemistry*. Freeman and Company, NY. 120 p.
- Bowen, H.J.M. (1979). *Plants and the chemical elements*. Academic Press, London. 324p.
- Brooks R. R. (1983). *Biological methods of prospecting for minerals*. Wiley, New York, 322 p.
- Brooks R.R. (1998). General Introduction. En: *Plants that hyperaccumulate heavy metals* (R.R. Brooks, Ed.). CAB International, Wallingford, 1-4 p.
- Chaney J.H. (1989) Toxic element accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food-chains. En: *Inorganic contaminants in the vadose zone Berlin* (B. Bar-Yosef, N.J. Barrow y J. Goldshmid, Eds.). Springer-Verlag Berlin and New York, 140-158 p.
- EPA. (1992). Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol. 1: metals. Environmental Protection Agency, Las Vegas NV.
- Freedman B. (1995). *Environmental ecology*. Academic Press, San Diego, 66 p.
- García S.A., Moyano A. y Munez C. (1999). Forms of cadmium, lead and zinc in polluted mining soils and uptake by plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30, 1385-1402 p.
- Hernández G.R. (2001). Nutrición mineral de las plantas. Material didáctico. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Kalandadze B. (2003). Influence of the ore mining and processing enterprise on soil types in adjoining areas. *Agron. Res.* 2, 131-137 p.
- Kim K-H. y Kim D.Y. (1996). Heavy metal pollution in agricultural soils: measurement in the proximity of abandoned mine land sites. *J. Environ. Sci. Health* 31, 783-795 p.
- Levitt J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, Nueva York, 48 p.
- Madejón P., Murillo J.M., Marañón T., Cabrera F. y López R. (2001). Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcóllar mine spill (SW Spain). *Sci. Total Environ.* 290, 105-120 p.
- Madrid, F. Liphadzi M.S. y Kirkham. M.B. 2003. *Journal of Hydrology.* 272, 107-119 p.
- Nissen L.R. y Lepp N.W. (1997). Baseline concentrations of copper and zinc in shoot tissues of a range of salix species. *Biom. Bioen.* 12, 115-120 p.
- Peralta J.R., Barraza L.P., Pérez E. E., Bristol A.L., Gardea J. T. y Curtis H.M. (1993). Sales y metales pesados, una referencia para el suelo y el agua del valle de Juárez. Cuaderno de trabajo. Unidad de Ciencia Biomédicas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Prahalad A.K. y Seenayya G. (1988). Bioavailability of Zn and Cd and their effect on microbial growth and metal uptake. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 41, 921-927 p.
- Pugh R., Dick D. y Fredeen A. (2002). Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil range lead-zinc mine, Faro Yukon Territory. *Ecotoxic. Environ. Safety.* 52, 273-279 p.
- Punshon T. (1996). Heavy metal resistance in salix. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy at Liverpool John Moores University, School of Biological and Earth Sciences, Liverpool.
- Reeves R.D. y Baker A.J.M. (2000). Metal accumulating plants. En: *Phytoremediation of toxic metals using plants to clean-up the environment*. (I. Raskin y B.D. Nsley, Eds.). Wiley, Nueva York, 193-230 p.
- Shaw A.J. (1990). *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*. CRC Press, Boca Raton, 35 p.
- Siegel F.R. (2002). *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Springer-Verlag, Berlin, 218 p.
- Smith E., Naidu R. y Alston A.M. (1998). Arsenic in the soil environment: a review. *Adv. Agron.* 64, 149-195 p.
- Wantanabe M.E. (1997) Phytoremediation on the brink of commercialisation. *Environ. Sci. Technol.* 31,182-186 p.