

# BIOERREMEDIACIÓN DE METALES DE JALES MINEROS CON LA PLANTA DE *Tithonia tubiformis*

María Julieta Maldonado Sánchez<sup>1</sup>  
Fernando Amézquita López<sup>2</sup>  
Diana Mendoza Olivares<sup>2</sup>  
Dr. Luis Enrique Sosa Luna<sup>3</sup>  
Dra. Carmen Cano Canchola<sup>3</sup>

## RESUMEN

Debido a la actividad minera dentro del municipio de Guanajuato desde la época de la colonia, existen acumulados alrededor de 45 millones de toneladas de residuos sólidos (jales). Es por ello, que estos depósitos de jales representan un grave problema para su manejo y control, debido a que la mayoría de ellos están formando las denominadas presas de jales que son normalmente abandonados por la industria, estas presas liberan silicatos y metales pesados tóxicos, impactando negativamente a la salud pública y a los ecosistemas locales y regionales, detectándose incluso en los sedimentos desde el Río Guanajuato hasta el Lerma y la propia Laguna de Chapala.

La entrada de elementos como As, Se, Cd, Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, etc., dentro de los ciclos biogeoquímicos constituye el inicio de una importante degradación ambiental, debido a que estos no pueden ser neutralizados o removidos fácilmente, por lo que es inútil cualquier esfuerzo de recuperación ambiental por métodos actualmente conocidos, además de que son extremadamente caros; por lo que nuestro grupo de trabajo está desarrollando un proceso biotecnológico para la remediación de los residuos mineros, haciendo crecer sobre ellos cier-



tas plantas nativas del municipio de Guanajuato resistentes a metales, capaces de fitoextraer y bioacumular metales como la plata y el cobre en sus raíces, para así iniciar un proceso de siembra, cultivo y extracción que facilite una restauración posterior, forestando las presas de jales con otras especies vegetales.

Con estos antecedentes se realizó un estudio para evaluar la capacidad de la planta anual compuesta *Tithonia tubiformis* para fitoextraer oro, plomo y zinc de los jales de la presa No.8 de la Mina de la Valenciana, utilizando plantas jóvenes resistentes a metales provenientes de los jardines de la Facultad de Química en la Universidad de Guanajuato, en donde se encuentran jales depositados desde hace unos 70 años.

La cantidad de los metales en las muestras de jales utilizados para el plomo fue de 46.72 mg/kg de jale, para el zinc fue de 29.53 mg/kg de jale y no se detectó oro. Después de 16 días de mantener las plantas en las macetas con jale, se encontró que la raíz, tallo y hojas, contenían en promedio, 5.47 mg de oro/kg de peso seco de tejido, respectivamente; mientras que en las plantas control no se detectó a este metal. Para plomo, en la raíz

<sup>1</sup> Exbecaria del Tercer Verano de la Ciencia de la Región; estudiante de 8º Sem. de la carrera de Biología, UAA.

<sup>2</sup> Laboratorio de Instrumental del IIBE

<sup>3</sup> IIBE de la Facultad de Química/Universidad de Guanajuato.

se encontró 11.03 mg, en el tallo 8.05 mg y en las hojas 12.98 mg del metal/kg de peso seco de cada tejido, mientras que en las plantas control se detectó plomo acumulado únicamente en las hojas, 14.02 mg/kg de peso seco de tejido. Para el zinc, en raíz se acumularon 69.72 mg, en tallo 54.88 mg y en hoja 171.89 mg del metal/kg de peso seco de cada tejido, mientras que en las plantas control se encontró en raíz 29.39 mg/kg, en tallo 37.54 mg/kg y en hojas 109.21 mg/kg de peso seco de cada tejido.

Las conclusiones de los experimentos de bioacumulación de diferentes metales en las plantas mantenidas en jal y en las plantas control mantenidas en el suelo del jardín de una zona en la que se depositaron residuos mineros, se pudo demostrar que las plantas son capaces de movilizar y manejar a diferentes metales y bioacumularlos selectivamente en sus tejidos, a diferencia de otras plantas bioextractoras, de estos elementos, las cuales poseen solo un mecanismo selectivo para un solo metal.

## INTRODUCCIÓN

Muchos aspectos de la ecología básica y aplicada pueden ser comprendidos por el estudio de las poblaciones de organismos adaptados para crecer en ambientes extremos. Las zonas mineras de Guanajuato, son únicas en su tipo ya que impactan a los ecosistemas acuáticos (Hansen, 1995) y terrestres; debido a que sus residuos sólidos "jales" son depositados con muy poco control en cañadas naturales. Solo en el distrito minero de Guanajuato se producen actualmente 3000 toneladas diarias de jales, para formar "las presas de jales". Estas están desprovistas de vegetación y constituyen un peligro potencial, debido a su inestabilidad geológica y a la dispersión de polvo, el cual puede ser absorbido por las vías cutáneas y respiratorias y causar problemas de salud debido a la concentración de metales tóxicos que aun contienen, plata, cobre, zinc, plomo, entre otros (Ramos, 1999).

Es en el área de la restauración ambiental en donde la biotecnología puede ofrecer mayores avances. Debido a los estudios ecológicos que ha realizado nuestro grupo, sabemos que existen plantas, como *Tithonia tubiformis* adaptadas para crecer en estos ambientes, y que es capaz de movilizar plata y cobre de los jales o de suelos contaminados (Rodríguez, 2001). Por ello pensamos que puede ser utilizada dentro de una estrategia de biorremediación, primeramente para fitoextraer metales tóxicos del suelo, descontaminarlo, después recuperar el metal de interés, para finalmente, llevar a cabo la reforestación de estas zonas con otras plantas y así lo-

grar la estabilización geológica de las presas de jales.

Para ello, se está realizando un estudio sistemático con la planta *Tithonia tubiformis* o girasol mexicano que crece y forma la mayor parte de la biomasa vegetal en zonas de jales durante las épocas de lluvia, para evaluar su capacidad de movilizar y acumular metales del suelo, así como conocer los mecanismos moleculares involucrados en su resistencia y/o tolerancia.

El objetivo de este proyecto fue evaluar la capacidad que tiene *Tithonia tubiformis* de movilizar y acumular en sus tejidos metales como el oro (por su alto valor agregado), el plomo y el zinc, por ser elementos muy tóxicos para los organismos.

## EXPERIMENTAL

Se transplantaron 44 plantas jóvenes de los jardines de la Facultad de Química de la Universidad de Guanajuato en macetas que contenían 1.5 kg de jale, para las cuales se siguió su adaptación evaluado como crecimiento y desarrollo. Después de 16 días del trasplante, se cosecharon y se disectaron en sus principales tejidos (raíz, tallo y hojas) y se trataron como esta descrito para la cuantificación de oro, plomo y zinc por Espectroscopía de Absorción Atómica, utilizando (Rodríguez, 2001), curvas de calibración con soluciones estándares de cada metal.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Inicialmente se transplantaron 44 plantas a jale, de las cuales solo el 4.5% de las plantas más pequeñas no lograron sobrevivir, mientras el resto siguió desarrollándose y creciendo como las plantas control. Como parte del crecimiento natural se observó que el 80% de las plantas desarrolló nuevas hojas después de la primera semana del trasplante. Al compararlas con las plantas control también se apreció una gran diferencia de tamaño después de 16 días, ya que las que habían estado en jale durante más de dos semanas, crecieron casi al doble de su tamaño, mientras que las plantas control tenían un tamaño menor, a pesar de que al momento del trasplante todas las plantas de *T. tubiformis* tuvieron aproximadamente el mismo tamaño. Otra diferencia se observó en el tallo, ya que el de las plantas control era muy grueso en comparación con las plantas en jale, ya que las hojas de las plantas control fueron más pequeñas y raquíticas, a diferencia de las de jale, que recibieron un riego constante de agua. En cuanto a las raíces se pudo observar que las plantas en jale presentaron una mayor producción de raíces secundarias que las plantas control, esto probablemente se debe a que al estar en

contacto con un medio hostil, poco nutritivo e inestable, como el jale, este comportamiento es una forma de adaptación para sujetarse y tener una mayor superficie de absorción de nutrientes.

La acumulación de oro en los tejidos fue bajo, debido a que su determinación estuvo debajo del límite de confiabilidad del método analítico, ya que en las muestras de jale utilizados tampoco se pudo detectar este metal (Tabla 1); por lo que no se sabe con certeza si la planta es capaz de movilizar y acumular oro, para lo que se propondrían dos alternativas; agregar directamente oro al jale en donde se encuentra la planta, para posteriormente saber si es capaz de movilizarlo o no, la otra alternativa es analizar jale de otras zonas con más contenido de oro, para utilizarlo como sustrato de las plantas de *T. tubiformis*.

En cuanto a los resultados de movilización de plomo, se pudo observar que el jale posee 46.7 mg/kg (Tabla 1). La raíz tiene 11.03 mg de Pb/kg, el tallo 8.05 mg de Pb/kg y en hoja 12.98 mg de Pb/kg (Tabla 2). Se ha reportado (González, 1999) que las plantas que crecen en suelos de zonas mineras, presentan una elevada resistencia al plomo, excluyéndolo por las hojas o en la planta completa, esto explica por que la planta solo absorbe de un 20 a un 30% del plomo encontrado en jale y que las hojas son el tejido que puede acumular una mayor cantidad de plomo, lo cual también fue cierto en *T. tubiformis*. Se sabe que el plomo es captado por difusión pasiva a través de las raíces y no es transportado a las partes aéreas de la planta. Sin embargo, cuando la planta se encuentra en el jale, puede desarrollar mecanismos de tolerancia al plomo, lo cual no le impide que este sea transportado a otros tejidos de la planta. En lo

que respecta a las hojas de la planta control que presentaron una cantidad de 14.02 mg de Pb/kg de tejido, se ha descrito (González, 1999) que las plantas que crecen en suelos de zonas no mineras, pueden acumular plomo en las hojas, el cual es absorbido de la atmósfera, ya que se sabe que estas plantas no transportan el plomo a sus partes aéreas, si no que lo almacenan en forma de pirofosfato de plomo, lo cual puede indicar que la atmósfera de Guanajuato tiene altos índices de plomo; esto se debe a que su principal industria es la minería, por lo que es factible que haya este tipo de contaminación en el aire.

Se observó que las hojas de plantas control y las de jale concentraron una gran cantidad de Zn, 109.21 mg/kg y 171.89 mg/kg respectivamente (Tabla 2). Se propone que esto puede deberse a que las plantas que crecen en suelos ricos en Zn, almacenan el exceso en los cloroplastos de las hojas. Las plantas que crecen en este tipo de suelos no presentan signos de toxicidad, aunque esto depende mucho de la especie y del estado de crecimiento de la planta (González, 1999). Aún no se conoce el mecanismo de absorción de Zn por parte de las raíces de las plantas, sin embargo, se sabe que pueden compartamentalizarlo en vacuolas como complejos solubles o complejos no difusibles. Una manera de tolerar el Zn, es la inmovilización en las paredes celulares y por medio del desarrollo de sistemas enzimáticos relacionados con la resistencia a los iones de Zn. Se sabe que una gran variedad de plantas resistentes al Zn suelen coincidir con la tolerancia al plomo (González, 1999), lo cual también se ha demostrado en este proyecto.

TABLA 1 CONTENIDO DE METALES EN JALE  
mg de metal/kg de suelo

METAL	ORO	PLOMO	ZINC
MUESTRA # 1	ND	42.751	22.163
MUESTRA # 2	ND	51.521	33.864
MUESTRA # 3	ND	51.521	32.588
MUESTRA # 4	ND	41.096	23.227
Desviación estándar		46.722±5.063	29.538±6.419

Nota: N.D = No detectado

TABLA 2 MOVILIZACIÓN Y ACUMULACIÓN DE METALES EN PLANTAS

TEJIDO	mg de metal/kg de peso seco del tejido		
	ORO	PLOMO	ZINC
Raíz/suelo	ND	ND	29.39
Raíz/jale	5.47	11.03	69.72
Tallo/suelo	ND	ND	37.54
Tallo/jale	5.47	8.05	54.88
Hoja/suelo	ND	14.02	109.21
Hoja/jale	5.47	12.98	171.89

Nota: N.D. = No detectado

Resultados promedio de dos determinaciones independientes



### CONCLUSIONES

*Tithonia tubiformis* es capaz de movilizar y acumular plomo, zinc y probablemente oro en sus diferentes tejidos, junto con la plata y el cobre (Rodríguez, 2001), por lo cual se propone que esta planta es buena biorremediadora de los metales de los desechos mineros, ya que cumple con otros requisitos importantes como, su gran desarrollo y formación de biomasa en poco tiempo y que es fácilmente cosechable.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González, M.S., "En Contaminación Ambiental por Metales Pesados, Impacto en los Seres Vivos", AGT Editor, S.A., México, 99-112, 1999.
- Hansen, A.M. y Bravo, I.L., "Fuentes de Contaminación y Enriquecimiento de Metales en Sedimentos de la Cuenca Lerma-Chapala, Ingeniería Hidráulica en México", 10:55-69, 1995.
- Ramos, R., "Reconstrucción Mineralógica de los jales de Guanajuato y el Estudio sobre el Seguimiento de las Especies Químicas Contenidas en sus Componentes no Metálicos". Tesis de Maestría en Química Inorgánica. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guanajuato, 1999.
- Rodríguez, N.E.A., "Propuesta Biotecnológica para la Biorremediación de Metales de Residuos Mineros utilizando plantas nativas resistentes". Tesis profesional de Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guanajuato, 2001.