

EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD DE JALES MINEROS DE XICHÚ EN FRIJOL, MAÍZ Y SORGO

Ixta Velázquez, Daniela (1); Cruz Jiménez, Gustavo (2); Sánchez Sánchez, Claudia Karina (3)

1 [Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: dany_ixvel@hotmail.com

2 [Departamento de Farmacia, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: cruzg@ugto.mx

3 [Departamento de Farmacia, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: javier_alex3@hotmail.com

Resumen

En este trabajo se evaluó el efecto de los jales mineros obtenidos en la zona minera “La Aurora” en la germinación y fitotoxicidad en semillas y plántulas de frijol, maíz y sorgo. Se evaluó el efecto de los extractos acuosos de jales a diferentes diluciones en la germinación y el efecto fitotóxico de las mezclas jales/suelo que contenían 25%, 50% y 75% jales. Se utilizó un control negativo que consiste en una mezcla de suelo comercial y un control positivo que corresponde solamente a jales mineros. Se evaluaron los parámetros de germinación de semillas (SG) y elongación de radícula (RE), longitud de raíz y tallo. La tolerancia mostrada de las especies vegetales bajo estudio a los jales mineros fue sorgo>maíz>frijol.

Abstract

In this work, it was evaluated the effect of mine tailings from the mining zone “La Aurora” in the germination and phytotoxicity of seeds and seedlings of beans, corn and sorghum. The effect of mine tailings’ aqueous extracts at different dilutions was evaluated and the effect of mixtures of mine tailings/soil that contained 25%, 50% and 75% of mine tailings was determined as well. It was used a negative control that contained only a commercial soil and a positive control which contained only mine tailings. In this experiment were evaluated parameters such as seed germination (SG), root elongation (RE), root and stem length. Tolerance towards mine tailings showed by the vegetal species under study was sorghum>corn>beans.

Palabras Clave

Jales; Metales; Germinación; Crecimiento; Plantas.

INTRODUCCIÓN

Minería y jales

En México una de las actividades más importantes es la extracción de minerales y está ha generado grandes volúmenes de residuos llamados jales. [1]

Los jales, son concentraciones de polvo que queda después de que se han molido rocas a partir de diversos procesos de extracción de los cuales se les han obtenido diversos minerales de interés como: plomo, zinc, cobre, plata, oro, etc. [2]

En dichos jales, predominan altas proporciones de elementos como: arsénico, bismuto, antimonio, plomo, manganeso, selenio, cobre y cadmio. Estos elementos pueden ser considerados como EPT (Elementos Potencialmente Tóxicos) para el medio ambiente [1].

Existen estudios realizados en los jales de la mina “La Aurora” en el Municipio de Xichú, en donde se describe su mineralogía y se determinaron los EPT presentes en los jales. [3][4]

Geoquímica de los minerales que se encuentran en los jales de Xichú

El arsénico (As) se puede encontrar en diferentes lados: en el suelo, aire, agua subterránea y superficial y en alimentos. Se encuentra en combinación con otros elementos formando minerales de kankita y beudantita. La reacción de oxidación de los sulfuros metálicos en los jales mineros genera la liberación del As, además de otros elementos como el Cd, Cu, Fe, Pb y Zn. [4]

Otro elemento localizable en los residuos mineros es el cobre que ocurre en Cu metálico y se puede encontrar en mayor proporción en forma de calcopirita (CuFeS_2) y bornita (Cu_5FeS_4). [3]

El Pb se halla en bajas concentraciones pero tiene una alta afinidad con el azufre. Por lo tanto el mineral más abundante en los jales es la galena (PbS) y beudantita, la lixiviación de la galena produce una variedad de minerales secundarios. [3].

El Zn, metal que puede ser esencial para los seres vivos, ya que el consumir cierta cantidad produce que no tengamos lesiones cutáneas, depresión severa e inmadurez sexual [5]. Pero el Zn en altas concentraciones en el suelo de minas, produce un

gran impacto negativo al medio ambiente. El principal mineral de Zn que se encuentra en los jales mineros está relacionado con óxidos de hierro [3].

Justificación:

En el Estado de Guanajuato por su gran desarrollo minero, ha generado grandes cantidades de jales mineros, con altas concentraciones de metales pesados que pueden ocasionar un riesgo a la salud.

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar el posible riesgo ambiental de los jales mineros de “La Aurora” ubicada en el municipio de Xichú en Guanajuato. Para lo anterior, se evaluó el efecto fitotóxico de los jales en tres especies vegetales: frijol, maíz y sorgo, así como su tolerancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

Los jales fueron obtenidos de un composito de varios puntos de muestreo realizada en uno de los jales de la zona minera “La Aurora” que se encuentra en el municipio de Xichú, Guanajuato. Estos jales contienen diversos metales como As, Cu, Zn y Pb que contienen cantidades que llegan hasta 12672 ± 400 , 1763 ± 10 , 2281 ± 16 y 4170 ± 242 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente. Se sabe que se pueden encontrar una gran cantidad de EPT en los jales mineros. [3][6]

Semillas de frijol, maíz y sorgo

Las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*) y sorgo (*Sorghum spp.*) fueron obtenidos de un establecimiento comercial. Las semillas fueron tratadas para evitar la contaminación por insectos. En el laboratorio fueron esterilizadas con una solución de hipoclorito al 8%/30 min antes de su uso.

Germinación de semillas y elongación de raíz

Se realizó el procedimiento de acuerdo a la US EPA (1996) que nos indica a partir de la germinación de las semillas (SG) y el alargamiento de la raíz (RE) la toxicidad que puede haber en las plantas a partir de las fracciones contaminantes que se encuentran en el agua [7].

Para cada muestra de semillas se hicieron tres réplicas de 10 semillas previamente esterilizadas donde se colocaron en placas Petri que contenían papel de filtro en la parte inferior, también esterilizados. Se añadieron cinco mililitros de la solución saturada a las cajas Petri se colocaron en una cámara ambiental (BIOTRONETTE MARK III) durante 120 horas a 24 ± 1 °C. Se preparó un control blanco sustituyendo la solución saturada por agua desionizada. Después de que pasaron las 120 horas se retiraron de la incubadora y se midieron las semillas germinadas.

A partir de los datos obtenidos se midieron los índices de toxicidad:

-SG, que es calculado con la Eq. 1: En términos estadísticos, representa el porcentaje residual normalizado de semillas germinadas después del experimento.

$$SG = (\text{Germ}_{\text{muestra}(i)} - \text{Germ}_{\text{control}}) / \text{Germ}_{\text{Control}} \quad (1)$$

Donde $\text{Germ}_{\text{muestra}(i)}$ es el número de semillas germinadas en la solución saturada i (%), y $\text{Germ}_{\text{control}}$ es el número de semillas germinadas en el control blanco (%)

-RE, es calculado con la Eq 2: En términos estadísticos, esto representa el alargamiento residual normalizado de la raíz de las semillas germinadas por tratamiento.

$$RE = (\text{Elong}_{\text{muestra}(i)} - \text{Elong}_{\text{control}}) / \text{Elong}_{\text{control}} \quad (2)$$

Donde $\text{Elong}_{\text{muestra}(i)}$ es la longitud media de las raíces de las semillas en el extracto de saturación i (cm), y $\text{Elong}_{\text{control}}$ es la longitud de las raíces de semillas en el blanco control (cm) .

De acuerdo a la investigación de Bagur se estableció los valores de toxicidad que se encuentra en las plantas a largo tiempo. La escala es la siguiente: (a) 0 a -0.25 baja toxicidad, (b) -0.25 a -0.5 moderada, (c) -0.5 a -0.75 alta y (d) -0,75 a -1 muy alto. RE valores > 0 indicaría la estimulación del crecimiento de la semilla (hormesis) [7].

Preparación de mezclas jales/suelo comercial

El suelo comercial es una mezcla de 20% agrolita, 20% vermiculita, 20% humus y 40% Peat Moss (Hydroenvironment®). Los tratamientos utilizados para el experimento se muestran en la tabla 1, y el

diseño experimental fue completamente aleatorizado.

Tabla 1: Componentes de los tratamientos utilizados en el diseño experimental.

Tratamiento	Relación jales/ suelo	Cantidad de jales (g)	Cantidad de suelo (g)
A	Suelo 100%	0 g	15 g
B	1/4	3.75	11.25 g
C	2/4	7.50 g	7.50 g
D	3/4	11.25 g	3.75 g
E	Jales 100%	15 g	0 g

Para cada tratamiento se hicieron 4 réplicas y se sembraron 5 semillas de frijol y maíz y 8 semillas de sorgo. Los tratamientos fueron colocados en las charolas de germinación de 21 cavidades. Se utilizó una charola de germinación para cada tipo de semilla. Las charolas fueron colocadas en una cámara ambiental durante 14 días y con una frecuencia de riego de cada 48 horas con agua desionizada.

Evaluación fitotóxica del crecimiento de frijol, maíz y sorgo en mezclas de jales/suelo comercial

Las plántulas se retiraron de las mezclas y se retiró el exceso de tierra adherido a la superficie, posteriormente se lavaron con ácido nítrico 0.01 M y se enjuagaron con agua desionizada. Se evaluaron los parámetros de longitud de raíz, tallo y hoja.

Análisis Estadístico

Se utilizó el análisis de varianza de una vía (ANOVA), para comprobar la hipótesis nula de igualdad entre los tratamientos usando el software JMPIN Versión: 4.0.3 (Academic), SAS Institute Inc. Posteriormente, para comprobar diferencias entre las medias de los tratamientos se utilizó el método Tukey-Kramer HSD (Honestly Significant Difference) como prueba *post hoc* ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación de semillas (SG) y elongación de raíz (RE) de frijol, maíz y sorgo

La germinación de semillas de frijol resultaron en las diferentes diluciones muy tóxicas (índice de toxicidad -0.94 a -0.72). En la elongación de raíz del frijol se observó una baja a moderada toxicidad (de -0.27 a -0.04) y a una dilución de 1/10 000 se observó hormesis (0.29). No se observaron diferencias significativas entre las diferentes diluciones estudiadas tanto en SG y RE ($p < 0.05$).

En el caso del maíz la SG estuvo en el intervalo de -0.76 a -0.34 del índice de toxicidad lo que nos indica que es de moderada a alta toxicidad. Sin embargo a una dilución de 1/1 000 se observa un efecto hormético y es estadísticamente diferente a la dilución 1/1 ($p < 0.05$). El RE del maíz entre las diluciones 1/1 y 1/100 se observa toxicidad moderada (-0.27 a -0.43). En las diluciones 1/1 000 y 1/10 000 los RE obtenidos fueron 0.26 y 0.00, respectivamente. Lo cual nos indica estimulación en el crecimiento y hormesis. Los RE de éstas últimas diluciones son estadísticamente diferentes a las otras diluciones utilizadas ($p < 0.05$).

El SG de las semillas de sorgo tienen baja toxicidad (-0.02 a 0.05) lo cual nos indica que las semillas de sorgo son más tolerantes que las semillas de frijol y maíz. Los valores obtenidos de SG son estadísticamente iguales ($p < 0.05$). El valor de RE de la dilución 1/10 000 fue de 0.35 lo que representa un efecto hormético, sin embargo las otras diluciones mostraron un rango de -0.40 a -0.06 que equivale a una toxicidad de baja a moderada y estos valores fueron significativamente diferentes de la dilución 1/10 000 ($p < 0.05$).

Evaluación fitotóxica del crecimiento de frijol, maíz y sorgo en mezclas de jales/suelo comercial

El frijol únicamente creció en el suelo comercial y no se presentó en ninguna otra mezcla de jales/suelo. El promedio del crecimiento de raíz fue de 107 mm, el del tallo fue de 310 mm y la longitud de hojas promedio fue de 47 mm.

Los resultados del crecimiento de las plántulas de maíz se muestran en la Figura 1. Se observa que conforme aumenta la cantidad de jales en la mezcla disminuye la longitud de raíz y tallo.

La raíz se ve afectada en su crecimiento a menor cantidad de jales ya que se observa una diferencia significativa cuando se agrega un 25% de jales en la mezcla. Esto no es observado en el crecimiento del tallo el cual se reduce significativamente hasta la mezcla de 50% de jales. Los jales afectan significativamente el crecimiento de raíz y tallo y disminuyen en un 94% y 76%, respectivamente ($p < 0.05$).

En la Figura 2 se muestra el crecimiento de las raíces y tallos de las plántulas del sorgo. Se observa que a medida que aumenta la cantidad de jales en la mezcla disminuye la longitud de las raíces y de los tallos. Sin embargo en el caso de la raíz no existe diferencia significativa entre las diferentes cantidades de jales con respecto al tratamiento que contiene únicamente suelo comercial ($p < 0.05$). En los tallos se observa que la adición de jales afecta significativamente su crecimiento con respecto al tratamiento sin jales ($p < 0.05$). No se observó crecimiento del sorgo en los tratamientos con 100% de jales, por lo que no se reportan en la Figura 2.

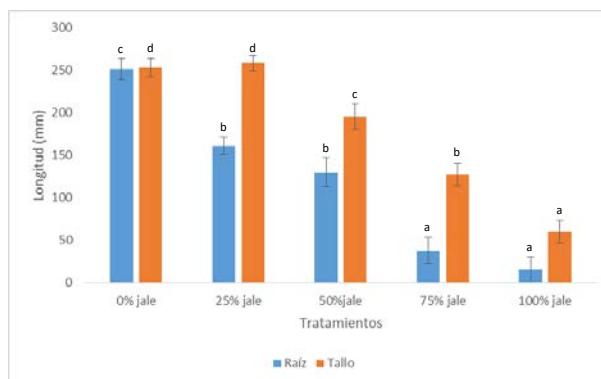


Figura 1: Fitotoxicidad en la elongación de raíz y tallo de maíz. Las barras representan el promedio de raíces y tallos en los diferentes tratamientos, las barras de error representan el error estándar ($n=4$). Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Estos resultados son congruentes con los reportados por Ramírez & Cruz (2015) en donde se observa el efecto fitotóxico del As en semillas

de huizache yóndiro ya que en los jales se ha reportado alto contenido de este metaloide [3] [8]. Sin embargo este efecto tóxico no es observado en la germinación de semillas de huizache yóndiro cuando se expone al cromo [9], por lo anterior se propone estudiar los efectos de suelos contaminados por cromo en semillas de frijol, maíz y sorgo.

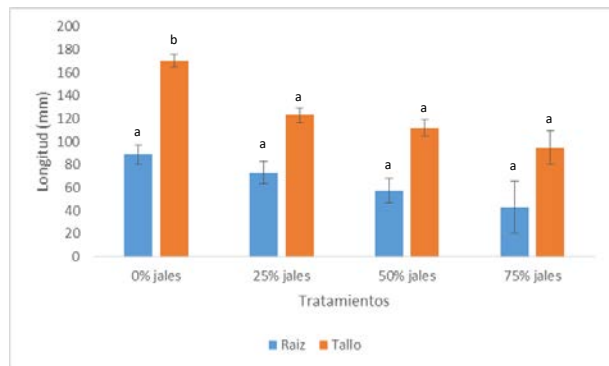


Figura 2: Fitotoxicidad en la elongación de raíz y tallo de sorgo. Las barras representa el promedio de raíces y tallos en los diferentes tratamientos, las barras de error representan el error estándar (n=4). Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

El frijol fue la especie que resultó menos tolerante de acuerdo a los parámetros estudiados en el presente trabajo. El sorgo fue el más tolerante ya que presentó un índice de toxicidad bajo en el SG y RE, además no afecto de manera significativa el crecimiento en la raíz de las plántulas y en el tallo fue afectado en una mezcla de 25% de jales. El maíz presento fitotoxicidad de moderada a alta en el SG y RE, y las mezclas de jales afectan significativamente el crecimiento de raíz y tallo en mezclas con 25% y 50% de jales, respectivamente.

El orden de tolerancia de las plantas estudiadas fue de sorgo>maíz>frijol. Sin embargo se recomienda determinar la concentración de metales acumulados en las especies vegetales estudiadas para realizar una mejor evaluación del riesgo ambiental por los jales de “La Aurora”.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado (DAIP) de la Universidad de Guanajuato por la beca otorgada para realizar la estancia del Verano de Investigación. Al laboratorio de Evaluación Toxicológica y Riesgo Ambientales (LETRA). Al CONACyT por el apoyo recibido del proyecto de Infraestructura 2015 (convenio No. 255270).

REFERENCIAS

- [1] Moreno Tovar, R. Téllez Hernández, J. & Monroy Fernández, M. G. (2012) Influencia de los minerales de los jales en la bioaccesibilidad de arsénico, plomo, zinc y cadmio en el distrito minero Zimapán, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol.28, no.3, p.203-218
- [2] Ramírez García, G. (2010). Evaluación del efecto de la mezcla jal-biosólidos en la germinación y crecimiento de pasto comercial (*Lolium perenne L.*), Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) y huizache (*Acacia farneciana L.*) Guanajuato. Tesis. (pp: 1-99).
- [3] Loredo Portales, R. (2016). Aplicación de métodos espectroscópicos en la especiación de arsénico en los procesos de biodisponibilidad y fitoaccesibilidad en jales de Xichú. Guanajuato. Tesis. (pp: 1-91)
- [4] Salas Megchún, E. F (2014). Geoquímica y mineralogía de jales en mina Aurora, Xichú. México D. Tesis. (pp: 1-100)
- [5] Gasca Lozano, L. E. & Díaz Cervantes, E. (2010). Evaluación de la viabilidad del uso de jales mineros y biosólidos para crecimiento de *Raphanus sativus*, *Coriandrum sativum*, *Phaseolus vulgaris* y *Medicago sativa*. Tesis. Guanajuato (pp.16-170).
- [6] Loredo Portales, R. Cruz Jiménez, G. Castillo Michel, H. Rocha Amador, D.O. Vogel Mikuš, K. Kump, P. & de la Rosa, G. (2015). Understanding copper speciation and mobilization in soils and mine tailings from “Mineral La Aurora” in central Mexico: contributions from synchrotron techniques. *Bol. Soc. Geo. Mex.* 67(3): 447-456.
- [7] Bagur González, M. G., Estepa Molina, C. Martín Peinado, F. & Morales Ruano S. (2010) Toxicity assessment using *Lactuca sativa L.* Bioassay of the metal (loid)s As,Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *J Soils Sediments.* 11(2):281-289. doi: 10.1007/s11368-010-0285-4.
- [8] Ramírez Ramírez, F.S. & Cruz Jiménez, G. (2015) Cuantificación de Elementos Potencialmente Tóxicos en especies vegetales de un sitio minero de Guanajuato: identificación de especies potencialmente fitorremediadoras. *Revista de Divulgación Científica.* 1(2): 1984-1989
- [9] González Cervantes, M. Y. & Cruz Jiménez, G. (2015) Determinación de la acumulación de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) en especies vegetales de un sitio minero de Guanajuato: identificación de especies con potencial fitorremediador. CONCYTEG. Reporte del 8to. Verano Estatal de Investigación: 1-3.