



# Efecto de níquel, plomo y zinc, en el desarrollo de la raíz de *Nicotiana tabacum* L.

Judith Nava Guillén, Fátima Hernández Madrigal, Yazmín Carreón Abud,  
Miguel Martínez Trujillo

*Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.*

---

## RESUMEN

La inhibición de crecimiento de las plantas muchas veces se debe a que los suelos en los cuales se desean introducir están altamente contaminados por metales. En este trabajo se utilizaron plantas de tabaco para determinar el efecto de 3 metales (níquel, zinc y plomo) en el desarrollo, particularmente en el crecimiento de la raíz primaria y la biomasa del sistema radical y del follaje. Además, este estudio permitió valorar la utilización de esta especie para bioensayos de la toxicidad causada por estos metales. Se crecieron las plantas durante cinco días en un sistema *in vitro* utilizando cajas de Petri con medios MS (Murashige y Skoog) con nutrientes y pH controlados y se trasplantaron a medios MS suplementados con diferentes concentraciones de níquel, zinc o plomo, donde se evaluaron las variables fenotípicas a los 2, 4 y 6 días. El níquel y el zinc en bajas concentraciones estimularon el crecimiento de la raíz primaria y la biomasa de la raíz y el follaje y en concentraciones mayores inhibieron éstos y otros marcadores fenotípicos. El plomo inhibió el crecimiento y desarrollo de las plantas sin llegar a estimularlas a bajas concentraciones. El orden de toxicidad de los metales analizados con base en el crecimiento de la raíz primaria fue el siguiente: Pb Ni Zn. Se recomienda el uso de plantas de tabaco en combinación con plantas de *Arabidopsis* para estudiar tanto la toxicidad como la estimulación ocasionada por metales.

*Palabras clave:* Metales, tabaco, crecimiento, toxicidad.

## ABSTRAC

The inhibition of the plant growth is debt many times to the soils highly contaminated by metals. In this work tobacco plants were used to determine the effect of three metals (nickel, lead, zinc) in the development, especially in the growth of the primary root and the biomass of the radical system and the foliage. Besides, this work allowed the use of this species for toxicity bioassays caused by metals. The plants were grown for five days in an *in vitro* system using Petri dishes with MS media (Murashige-Skoog) with controlled nutrients and pH and transplanted to MS media supplemented with different concentrations of nickel, lead and zinc, where the phenotypic variables were evaluated at 2, 4 and 6 days. The nickel and zinc at low concentrations stimulated the growth of the primary root and the biomass of the root and foliage and at higher concentrations inhibited these and other phenotypic markers. The lead inhibited the growth and development of plants and no stimulation was observed at low concentrations. The order of toxicity of the analyzed metals was Pb Ni Zn. The tobacco plants are recommended in combination with *Arabidopsis* plants to study either the toxicity or the stimulation produced by these metals.

*Key words:* Metals, tobacco, growth, toxicity.

---

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son definidos como aquellos elementos químicos que presentan una

densidad igual o superior a 5 g/cm<sup>3</sup> cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza

terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%. No obstante, conviene clarificar que el término “metales pesados” es impreciso y se pretende indicar con este término aquellos metales que, siendo elementos pesados son “tóxicos” para el medio ambiente. Sin embargo, cualquier elemento que *a priori* es beneficioso para el ambiente, en concentraciones excesivas puede llegar a ser tóxico (Seregin e Ivanov 2001). La presencia natural de los metales pesados no debería ser peligrosa, ya que es parte del equilibrio de la naturaleza, sin embargo los niveles de emisión de dichos metales al medio ambiente se han incrementado, sobre todo desde la revolución industrial y una vez emitidos pueden permanecer en el medio ambiente durante cientos de años. (Fergusson 1990). Muchos de estos elementos son micro nutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y son absorbidos por las raíces de las plantas o llegan a formar parte de la dieta de los animales. Cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos o las aguas y se convierten en tóxicos peligrosos (Navarro-Aviñó et al. 2007).

El níquel es requerido por las plantas en concentraciones muy bajas, de 1.7 nmol/g o menos en biomasa seca y es esencial para las plantas, animales y bacterias (Eskew et al. 1984). Este metal es un componente de la enzima ureasa, la cual está presente en un rango muy amplio de especies vegetales y se ha mencionado que puede tener un papel en la síntesis de fitoalexinas y en la resistencia de las plantas a las enfermedades (Brown et al. 1987).

El plomo no es esencial para las plantas y es incorporado en éstas mediante la unión a los compuestos de la pared celular y posteriormente es internalizado a las células por mecanismos que no han sido descifrados (Song et al. 2003). Cuando el plomo entra al xilema algunos de los iones se transportan hasta el tallo a tasas que varían de 0.35 a 0.6 m/h (Petit et al. 1978). Uno de los síntomas de la toxicidad ocasionada por el plomo es la disminución del crecimiento de la raíz y las concentraciones letales exceden la concentración inhibitoria mínima en menos de 10 veces (Seregin e Ivanov 2001).

El zinc es uno de los micro nutrientes que se encuentra en las plantas en cantidades de aproximadamente 20 mg/Kg de peso seco (Sallisbury y Ross 1991). Este metal es un constituyente de numerosas enzimas como anhidrasas, oxidasas y peroxidasas y juega un papel importante en regular el metabolismo del nitrógeno, la multiplicación celular, la fotosíntesis y la síntesis de auxinas (Rout y Das 2003). Una de las funciones importantes del zinc es en la regulación de la expresión de genes al formar parte de factores de transcripción, particularmente en los motivos de las proteínas conocidos como dedos de zinc; varias de estas proteínas han sido implicadas en la regulación de procesos biológicos importantes como desarrollo de la flor, morfogénesis regulada por la luz y respuestas a patógenos (Takatsuji 1998). Se ha determinado la participación de 3 genes en la incorporación de zinc en plantas de *Arabidopsis thaliana*. *ZIP1* y *ZIP2* se expresan en raíces cuando existe una deficiencia de zinc y *ZIP4* se expresa tanto en tallos como en raíces (Grotz et al. 1998).

La raíz es uno de los órganos más importantes y adecuados para la captación de agua y nutrientes del ambiente, necesarios para la vida de la planta. Este órgano se diferencia del tallo por su estructura, por el modo en que se forma y por la falta de apéndices, como yemas y hojas. La primera raíz originada de la planta se llama radícula, que es formada después de la germinación de la semilla y forma la raíz primaria. Las raíces originadas a partir de la raíz primaria se denominan raíces laterales. Las raíces que se desarrollan de otra parte de la planta, tal como el tallo, son llamadas raíces adventicias. (Taiz y Zeiger 2007). En condiciones normales el crecimiento depende de la disponibilidad del agua en el suelo, hormonas de crecimiento y nutrientes (nitrógeno, fósforo, hierro etc.). (Taiz y Zeiger 2007).

En este trabajo se utilizó *Nicotiana tabacum* L., una plata de ciclo corto y abundante producción de semilla, para determinar el efecto del plomo, níquel y zinc en el crecimiento y desarrollo y para establecer la toxicidad relativa de estos metales con base en marcadores fenotípicos. Además, permitió comparar los resultados con

otros obtenidos *in vitro* en nuestro laboratorio utilizando *Arabidopsis thaliana*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material biológico

Se utilizaron semillas de *Nicotiana tabacum* L. var. Xanthi, proporcionada por el CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato.

### Desinfección de semillas de tabaco

Se realizó de acuerdo a Ortiz-Castro *et al.* (2007).

### Condiciones de crecimiento de plantas

Las semillas de *Nicotiana tabacum* L. se desinfectaron y se sembraron en cajas de Petri con medio MS (Murashige y Skoog 1962) con 2% de sacarosa con Gelrite al 0.25%. Las condiciones de crecimiento fueron de acuerdo a la temperatura ambiental del laboratorio (23-26 °C) con 12 h de luz y 12 h de oscuridad. Las plantas de 6 días de edad se transfirieron a cajas de Petri con medio MS suplementados con las diferentes concentraciones de los metales (plomo níquel y zinc).

### Determinación de la concentración mínima inhibitoria del crecimiento de la raíz primaria

Se utilizaron plántulas de 6 días después de la germinación y se trasplantaron a los medios MS suplementados con plomo, níquel o zinc. Se marcó la longitud inicial de la raíz primaria, cuidando que la raíz estuviera orientada en posición horizontal para distinguir los patrones de crecimiento. El crecimiento se midió a los 2, 4 y 6 días.

### Peso del follaje y raíz

Las plantas sometidas a las diferentes concentraciones de metales, se colectaron a los 6 días y se separó el follaje de la raíz. La determinación del peso fresco del sistema radical y el follaje se realizó con una balanza analítica (Ohaus® New Jersey, USA) con una precisión de 0.0001 g.

## RESULTADOS

### Efecto del Níquel en el desarrollo y crecimiento de la raíz primaria de plantas de tabaco

Se germinaron y crecieron plantas de *Nicotiana tabacum* L. durante 5 días en medios MS 0.5X y posteriormente fueron transferidas a

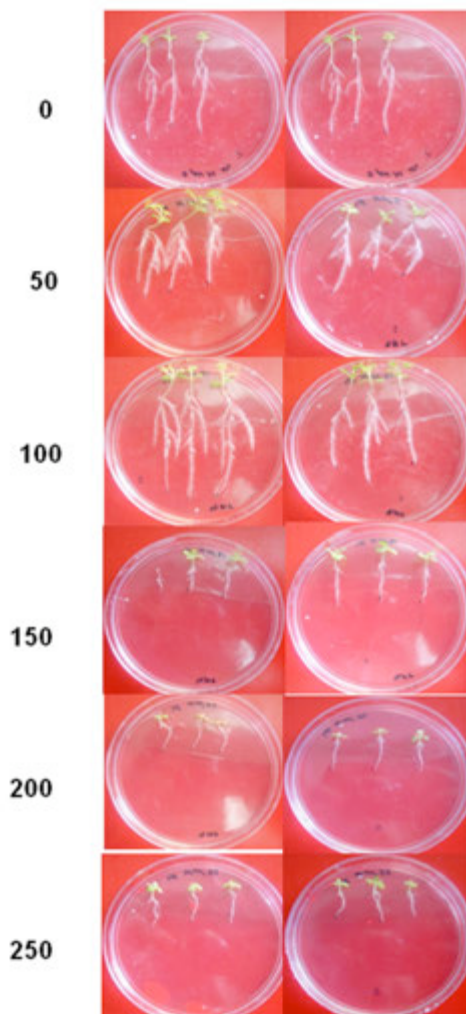
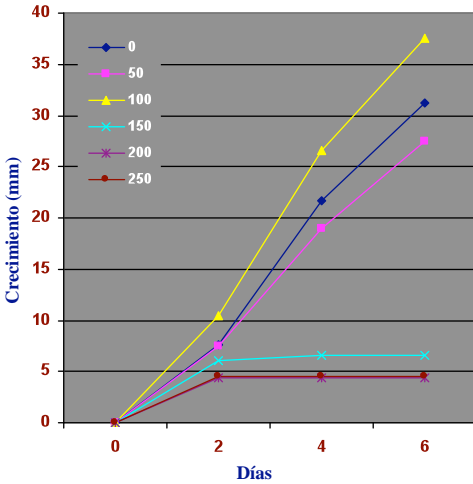


FIGURA 1. CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON NÍQUEL. Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de níquel ( $\mu\text{M}$ ) y se dejaron crecer por otros 6 días.

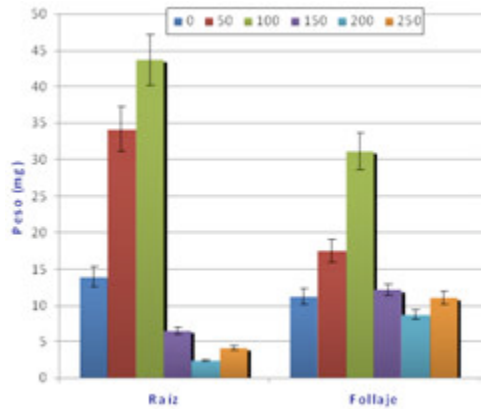


**FIGURA 2. CRECIMIENTO DE LA RAÍZ PRIMARIA DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON NÍQUEL.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de níquel ( $\mu\text{M}$ ) y se midió el crecimiento de la raíz primaria a los 2, 4 y 6 días.

medios con Níquel en concentraciones de 0  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 100  $\mu\text{M}$ , 150  $\mu\text{M}$ , 200  $\mu\text{M}$  y 250  $\mu\text{M}$ , dejándolas crecer seis días más (FIGURA 1). Los resultados obtenidos mostraron que 100  $\mu\text{M}$  es una concentración que estimula el crecimiento de la raíz primaria (FIGURA 2), mientras que 50  $\mu\text{M}$  lo inhibe en aproximadamente un 10%. Tanto en 50 y 100  $\mu\text{M}$  hubo mejor desarrollo de raíces laterales y mayor número de pelos radicales (FIGURA 1). El crecimiento de la raíz primaria se inhibió completamente en las concentraciones de 150  $\mu\text{M}$ , 200  $\mu\text{M}$  y 250  $\mu\text{M}$  a partir de los 2 días de su transferencia a los medios con níquel (FIGURA 2), sin embargo, no hubo amarillamiento ni muerte de las plantas, ya que la parte foliar continuó con su desarrollo al igual que las plantas no expuestas al Níquel (FIGURA 1).

**Efecto del níquel en la biomasa radical y foliar de tabaco**

Después de haber obtenido los datos de medición de la raíz primaria se extrajeron las plantas de los medios para pesar en fresco y por separado la masa foliar y radical. Se observó que las concentraciones de 100 y 50  $\mu\text{M}$  de níquel fueron las que estimularon la biomasa de la raíz

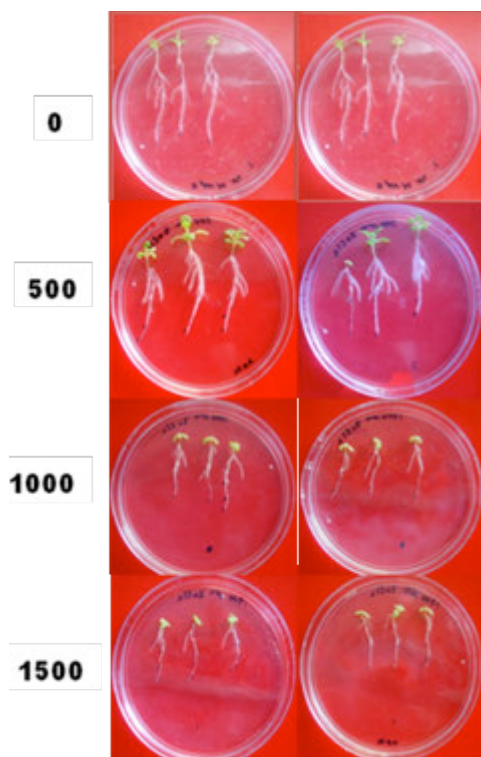


**FIGURA 3. PESO FRESCO DE LA RAÍZ Y EL FOLLAJE DE PLANTAS DE TABACO CECIDAS EN MEDIO CON NÍQUEL.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de níquel ( $\mu\text{M}$ ) y se determinó el peso de la raíz y el follaje a los 6 días. Las barras indican el intervalo de confianza para una muestra de 9 plantas.

en aproximadamente 3 y 2 veces (FIGURA 3), mientras que las concentraciones de 150  $\mu\text{M}$ , 200  $\mu\text{M}$  y 250  $\mu\text{M}$  tuvieron menor biomasa con relación al control sin el metal. En lo que respecta a la biomasa del follaje las concentraciones de 100 y 50  $\mu\text{M}$  de níquel estimularon la biomasa en aproximadamente 2.5 y 1.5 veces con relación al control sin el metal, mientras que las concentraciones mayores no modificaron significativamente la biomasa.

**Efecto del Zinc en el desarrollo y crecimiento de la raíz primaria de plantas de tabaco**

Se germinaron y crecieron plantas de *Nicotiana tabacum* L. durante 5 días en medios MS 0.5X y posteriormente fueron transferidas a medios con Zinc 0  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$ , 1000  $\mu\text{M}$  y 1500  $\mu\text{M}$  dejándolas crecer seis días más (Figura 4). Para cada una de las concentraciones mencionadas se registró el crecimiento de la raíz primaria a los 2, 4 y 6 días (FIGURA 5). En todas las concentraciones hubo menor crecimiento de la raíz primaria con respecto al control sin metal. A excepción de la concentración de 500  $\mu\text{M}$  se disminuyó el desarrollo de raíces laterales y pelos radicales, aunque no hubo síntomas de



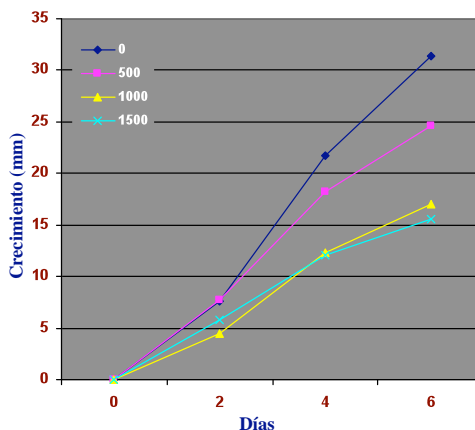
**FIGURA 4. CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON ZINC.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de zinc ( $\mu\text{M}$ ) y se dejaron crecer por 6 días.

toxicidad en otros aspectos como cambios de coloración ni marchitamiento (FIGURA 4).

Con base en los resultados obtenidos con las concentraciones de zinc anteriores se llevó a cabo un segundo experimento estableciendo concentraciones de 100  $\mu\text{M}$ , 200  $\mu\text{M}$ , 300  $\mu\text{M}$  y 400  $\mu\text{M}$  (FIGURA 6). En todas las concentraciones utilizadas de zinc, el crecimiento de la raíz primaria fue similar al de las plantas control (FIGURA 7) y a 300  $\mu\text{M}$  y 400  $\mu\text{M}$  hubo escasa presencia de pelos radicales. No hubo síntomas de toxicidad en el follaje (FIGURA 6).

#### *Efecto del zinc en la biomasa radical y foliar de plantas de tabaco*

Después de haber obtenido los datos de medición de la raíz primaria, se extrajeron las plan-



**FIGURA 5. CRECIMIENTO DE LA RAÍZ PRIMARIA DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON ZINC.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de zinc ( $\mu\text{M}$ ) y se midió el crecimiento de la raíz primaria a los 0, 2, 4 y 6 días.

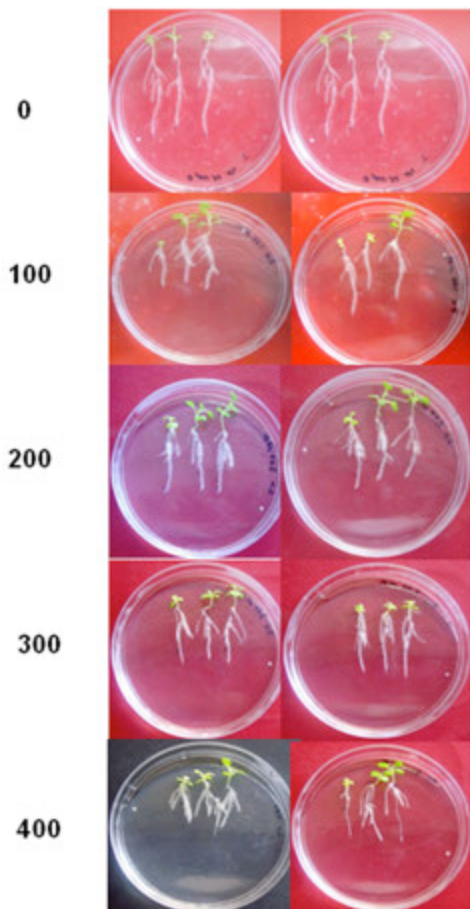
tas de los medios para pesar en fresco y por separado la masa foliar y radical. La biomasa de la raíz (FIGURA 8) se estimuló a concentraciones de 100  $\mu\text{M}$  (4 veces), 200  $\mu\text{M}$  (2.5 veces), 300  $\mu\text{M}$ , 400  $\mu\text{M}$  y 500  $\mu\text{M}$  (0.5 veces). La biomasa del follaje se incrementó a 200  $\mu\text{M}$ , mientras que a 300  $\mu\text{M}$  y 400  $\mu\text{M}$  la biomasa fue similar al control (FIGURA 8).

#### *Efecto del Plomo en el desarrollo y crecimiento de la raíz primaria de plantas de tabaco*

Se germinaron y crecieron plantas de *Nicotiana tabacum* L. durante 5 días en medios MS 0.5X y posteriormente fueron transferidas a medios con plomo 0  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$ , 1000  $\mu\text{M}$  y 1250  $\mu\text{M}$  (FIGURA 9). Para cada una de las concentraciones mencionadas se registró el crecimiento de la raíz primaria a los 2, 4 y 6 días. En todas las concentraciones el crecimiento de la raíz primaria se inhibió completamente a los 2 días (FIGURA 10), se inhibió la formación de raíces laterales y el follaje fue más reducido, a excepción del medio con la concentración de 500  $\mu\text{M}$  (FIGURA 9).

Con base en los resultados obtenidos en el experimento anterior, se realizó otro experimento con concentraciones 100  $\mu\text{M}$ , 200  $\mu\text{M}$ , 300



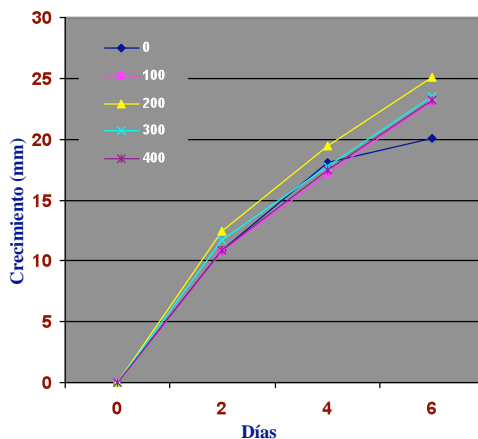


**FIGURA 6. CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON ZINC.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de zinc ( $\mu\text{M}$ ) y se dejaron crecer por 6 días.

$\mu\text{M}$  y  $400 \mu\text{M}$ . Los resultados fueron similares al primer experimento, con la inhibición total del crecimiento de la raíz primaria follaje más reducido y color amarillento aunque en estas concentraciones si hubo raíces laterales.

**Efecto del plomo en la biomasa radicular y foliar de plantas de tabaco**

Después de haber obtenido los datos de medición de la raíz primaria, se extrajeron las plantas de los medios para pesar en fresco y por separado la masa foliar y radical. La biomasa de la



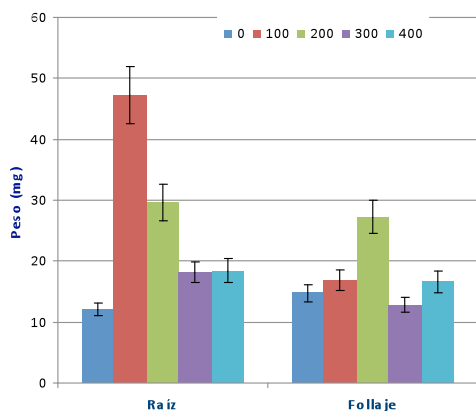
**FIGURA 7. CRECIMIENTO DE LA RAÍZ PRIMARIA DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON ZINC.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de zinc ( $\mu\text{M}$ ) y se midió el crecimiento de la raíz primaria a los 0, 2, 4 y 6 días.

raíz se redujo en todas las concentraciones de plomo utilizadas, desde 3 hasta 10 veces (FIGURA 11). La biomasa del follaje también disminuyó en medios con concentraciones de  $500 \mu\text{M}$  o mayores

**DISCUSIÓN**

Los blancos de toxicidad de los metales son proteínas, muchas de ellas con actividad enzimática, afectando a diversos procesos bioquímicos, membranas celulares y orgánulos. Los efectos tóxicos de los metales se ejercen, salvo pocas excepciones, por interacción entre el ión metálico libre y su blanco. La relación de toxicidad se ha correlacionado de manera directa con la fuerza para unirse a grupos SH en condiciones *in vitro* (Ivanov et al. 2003).

Los metales suelen ser absorbidos del suelo por las plantas y tienen efectos en el crecimiento y desarrollo de las mismas. Esto es notable en cultivos semi-urbanos ya que es posible encontrar niveles de metales perjudiciales, como son el plomo y el cadmio, productos del tráfico automotor. Se han detectado niveles altos de plomo en bromelias en Caracas (Túguez 1972) y en líquenes en el Instituto Venezolano de Investiga-

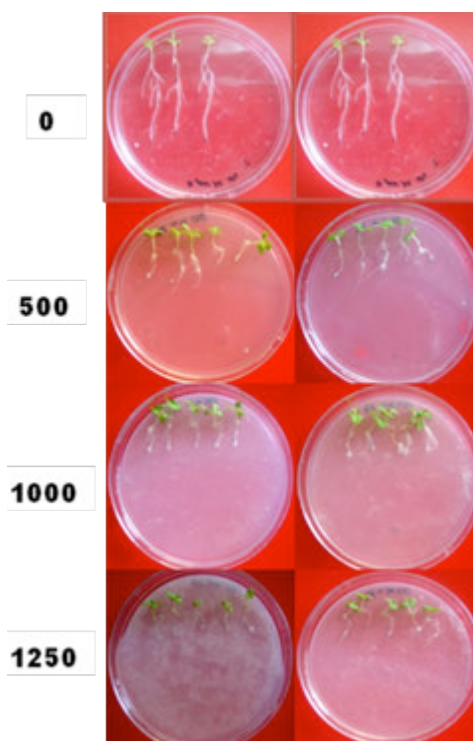


**FIGURA 8. PESO DE LA RAÍZ Y EL FOLLAJE DE PLANTAS DE TABACO CRECIDAS EN MEDIO CON ZINC.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de zinc ( $\mu\text{M}$ ) y determinó el peso de la raíz y el follaje a los 6 días. Las barras indican el intervalo de confianza para una muestra de 9 plantas.

ciones Científicas (IVIC) situado a 11 Km de Caracas (Gordon *et al.* 1995). Los componentes de la gasolina, el aceite de motor y los cauchos se depositan a la orilla de las carreteras y producen contaminación con cadmio, níquel, plomo y zinc en las plantas que allí se encuentran (Lagerwerff y Specht 1970).

Una manera de determinar la toxicidad es mediante el uso de bioensayos. Khosravi *et al.* (2005) han utilizado la planta *Azolla filicoides* en soluciones acuosas y han determinado la biomasa como peso fresco como un indicador para medir la toxicidad. Wang (1987) utilizó al mijo y la lechuga para determinar la toxicidad de metales mediante la inhibición del crecimiento de la raíz primaria al 50%; de igual manera Ivanov *et al.* (2003) utilizaron plántulas de maíz.

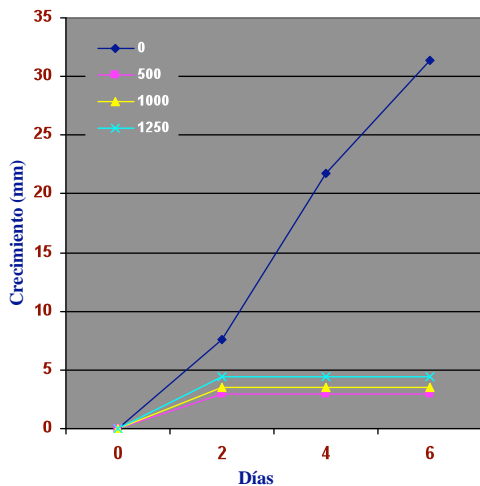
En este trabajo se utilizaron plantas de tabaco para determinar el efecto de 3 metales (níquel, zinc y plomo) en el desarrollo de éstas, particularmente en el crecimiento de la raíz primaria y la biomasa del sistema radical y del follaje. Además, este estudio permitió valorar la utilización de esta especie para bioensayos de la toxicidad causada por estos metales. De los metales utilizados en este trabajo dos son micronutrientes esenciales para las plantas (níquel y



**FIGURA 9. CRECIMIENTO DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON PLOMO.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de plomo ( $\mu\text{M}$ ) y se dejaron crecer por 6 días.

zinc) mientras que el plomo no es esencial. Con anterioridad Vargas (2007) realizó un trabajo con *Arabidopsis thaliana* y determinó que el crecimiento de la raíz primaria es un marcador sensible a la toxicidad y las concentraciones mínimas inhibitorias del crecimiento de la raíz permitieron establecer que la toxicidad a los 4 días es mayor por níquel y menor en plomo y zinc en ese orden, ya que aunque el follaje y el crecimiento general de la planta puede continuar a ciertas concentraciones.

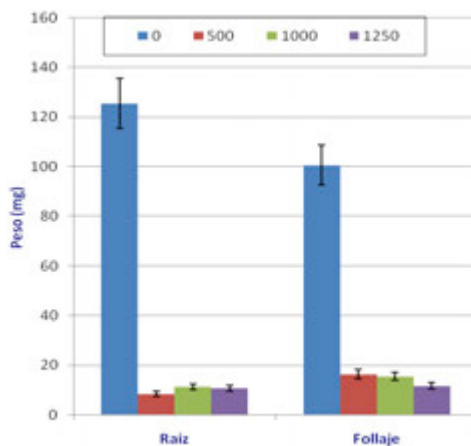
El tabaco resultó una planta adecuada para determinar tanto el efecto estimulador del níquel a bajas concentraciones como el efecto inhibitor a altas concentraciones, ya que el crecimiento de la raíz primaria se estimuló a 100 M y la biomasa de la raíz y el follaje se estimularon a 100 M y 50 M. La raíz primaria resultó ser el marcador



**FIGURA 10. CRECIMIENTO DE LA RAÍZ PRIMARIA DE PLANTAS DE TABACO EN MEDIOS CON PLOMO.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de plomo ( $\mu\text{M}$ ) y se midió el crecimiento de la raíz primaria a los 2, 4 y 6 días.

fenotípico más sensible ya que a los 2 días el crecimiento se detuvo desde 150 M. En cambio, *Arabidopsis* no manifestó el efecto estimulador del níquel y el crecimiento de la raíz primaria se inhibió desde 50 M, por lo que esta especie sólo nos permite hacer estudios de toxicidad. Otros marcadores fenotípicos (biomasa de raíz y biomasa de follaje) tampoco se estimulan en *Arabidopsis* en concentraciones bajas del metal. En la tabla 1 se resumen los marcadores fenotípicos y sus efectos por las diferentes concentraciones de níquel tanto en *Arabidopsis* como en tabaco y otra diferencia notable es la estimulación de pelos radicales en el tabaco en las concentraciones de 50 y 100 M.

En lo que respecta al efecto del zinc, el tabaco también es un modelo adecuado para estudiar el efecto estimulador de este micronutriente a concentraciones bajas y el efecto tóxico a concentraciones altas (FIGURAS 4 A 8). Nuevamente el crecimiento de la raíz primaria resultó el marcador fenotípico más sensible, ya que mientras hasta concentraciones de 400 M se estimula el crecimiento, a partir de 500 y hasta 1500 M se inhibe el crecimiento aunque nunca de manera total. En cambio en *Arabidopsis* a 1000 M del



**FIGURA 11. PESO DE LA RAÍZ Y EL FOLLAJE DE PLANTAS DE TABACO CECIDAS EN MEDIO CON PLOMO.** Plantas de tabaco de 5 días de edad crecidas en medio MS fueron trasplantadas a medios MS con diferentes concentraciones de plomo ( $\mu\text{M}$ ) y determinó el peso de la raíz y el follaje a los 6 días. Las barras indican el intervalo de confianza para una muestra de 9 plantas.

metal el crecimiento de la raíz primaria se inhibe por completo (Vargas 2007), por lo que esta última es más sensible y un modelo más adecuado para estudiar la toxicidad del zinc. No se han probado concentraciones menores de 500 M de zinc en *Arabidopsis*, por lo que no es posible saber hasta el momento si se presentan efectos estimuladores en los marcadores fenotípicos. Una comparación del efecto del zinc entre tabaco y *Arabidopsis* se puede observar en la tabla 1 y mientras que el tabaco presenta estimulación en la biomasa de raíz, follaje, pelos radicales y raíces laterales a 500 M, en *Arabidopsis* hay inhibición. En síntesis, *Arabidopsis* tolera menores concentraciones de zinc con respecto al tabaco.

El plomo resultó un metal sumamente tóxico para el tabaco, ya que a concentraciones desde 100 M inhibió el crecimiento de la raíz primaria desde los dos días (FIGURAS 9 Y 10). En cambio en *Arabidopsis* sólo se inhibe totalmente el crecimiento de la raíz primaria a 1000 M a los dos días (Vargas 2007). Con base en este marcador fenotípico el tabaco es un mejor modelo para estudiar la toxicidad ocasionada por el plomo. La comparación del efecto del plomo entre



*Arabidopsis* y el tabaco se resumen en la tabla 1, en la que a excepción de los pelos radicales que se estimulan en tabaco, hay un efecto inhibitorio en los otros marcadores fenotípicos.

Considerando el marcador fenotípico más sensible, el crecimiento de la raíz primaria, el orden de toxicidad utilizando plantas de tabaco fue el siguiente: PbNiZn, mientras que la utilización de *Arabidopsis* por Vargas (2007) determinó el siguiente orden de toxicidad: NiPbZn. La diferencia en este comportamiento puede deberse en parte a los niveles endógenos de los dos micronutrientes en las dos plantas. De cualquier forma, si se desea evaluar tanto el efecto estimulador como tóxico de níquel y zinc la planta más adecuada es el tabaco, mientras que si sólo se desea evaluar la toxicidad, *Arabidopsis* es más adecuada por su sensibilidad. Por el contrario, la evaluación de la toxicidad ocasionada por el plomo es mejor evaluarla con el tabaco, ya que es más sensible con respecto a *Arabidopsis*.

## REFERENCIAS

- Brown, P. H., Welch, R. M. y E. Cary (1987). Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology* 85: 801-803.
- Cox, P. A. (1991). *The Elements – Their origin, abundance and distribution*. Oxford, Oxford University Press.
- Duffus, J. H. (2002). "Heavy metals"- a meaningless term- *Pure Appl. Chem.* 74(5): 793-807.
- Eskew, D. L., Welch, R. M. y W. A. Norvell (1984). Nickel in higher plants. *Plant Physiology* 76: 691-693.
- Fergusson, J. F. (1990). *The heavy Elements. Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press.
- Gordon C. A., Herrera R., y T. C. Hutchinson (1995). The use of a common epiphytic lichen as a bioindicator of atmospheric inputs to two Venezuelan cloud forests. *Journal of Tropical Ecology* 11: 1-26.
- Grotz, N., Fox, T., Connolly, E., Park, W. y M.L. Guerinot (1998). Identification of a family of zinc transporter genes from *Arabidopsis* that respond to zinc deficiency. *Proc Natl Acad Sci USA* 95: 7220-7224.
- Harte, J., Schneider R. y C. Shirley (1991). *Toxics A to Z. A guide to everyday pollution hazards*. Univ. of California Press.
- Ivanov, V. B., Bystrova, E. I. y I. V. Seregin (2003). Comparative impacts of heavy metals on root growth as related to their specificity and selectivity. *Russian Journal of Plant Physiology* 50: 398-406.
- Khosravi, M., Taghi, M. G. y R. Rakhshae (2005). Toxic effect of Pb, Cd, Ni, and Zn on *Azolla filiculoides* in the Internarional Anzali Wetland. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2: 35-40.
- Lagerwerff J. V. y A. W. Specht (1970). Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead, and zinc. *Environmental Science and Technology* 4(7): 583-586.
- Moreno, J. L., García C., Hernández T. y M. Ayuso (1997). Application of composted sewage sludges contaminated with heavy metals to an agricultural soil. *Soil Science Plant Nutrition* 43 (3): 565-573.
- Murashige, T. y F. Skoog (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum* 15: 473-497.
- Navarro-Aviñó, J. P., Aguilar-Alonso, I. y J. R. López-Moya (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 2007/2.
- Petit, C. M. y S. C. van de Geijn (1978). In vivo measurement of Cadmium (<sup>115m</sup>Cd) transport and accumulation in the stems of intact tomato plants (*Lycopersicon esculentum*). *Planta* 138: 137-143.
- Rout, G. R. y P. Das. (2003). Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. *Zinc. Agronomie* 23: 3-11.
- Salisbury F. y C. Ross (1991). *Plant Physiology*. Third edition. John Wiley and Sons. New York NY. 656 pp.
- Seregin, I. V. y V. B. Ivanov (2001). Physiological aspects of cadmium and lead toxic ef-

- fects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology 48: 523-544.
- Song, W. Y., Sohn, E. J., Martinoia, E., Lee, Y. J., Yang, Y. Y., Yasinski, M., Forestier, C. Hwang, I y Y. Lee (2003). Engineering tolerance and accumulation of lead and cadmium in transgenic plants. Nature Biotechnology 21: 914-919.
- Taiz L. y E. Zeiger (2007). Plant Physiology, Fourth edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, MA, USA. 764 pp.
- Takatsuji, H. (1998). Zinc-finger transcription factors in plants. Cell Molecular Life Science 54: 582-596.
- Túñez J. L. (1972). Las plantas como indicadoras de metales pesados en la atmósfera. Tesis de Licenciatura. UCV. Caracas.
- Vargas Palominos, L. (2007). Determinación de la toxicidad causada por zinc, níquel y plomo mediante el análisis del crecimiento y actividad mitótica de la raíz de *Arabidopsis thaliana* L. Tesis Profesional de Bióloga. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Wang, W. (1987). Root elongation method for toxicity testing of organic and inorganic pollutants. Environmental toxicology and chemistry ETOCDK 6: 409-414.