



CONTENIDO Y TRASLOCACIÓN DE PLOMO EN AVENA (*Avena sativa*, L.) Y HABA (*Vicia faba*, L.) DE UN SUELO CONTAMINADO

LEAD CONTENT AND TRANSLOCATION IN OATS (*Avena sativa*, L.) AND BROAD BEAN (*Vicia faba*, L.) IN CONTAMINATED SOIL

Elizabeth García-Gallegos^{1,3}, Elizabeth Hernández-Acosta², Edelmira García-Nieto³ y Otilio A. Acevedo-Sandoval¹.

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Químicas, Ciudad Universitaria, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, C. P. 42184 Col. Carboneras Mineral de la Reforma, Hidalgo. México. Correo-e: gallegoseg@hotmail.com.

²Universidad Autónoma Chapingo km 38.5 Carretera México-Texcoco, C. P. 56230, Chapingo, Estado de México. Correo-e: elizahac@yahoo.com.mx.

³Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Investigación en Genética y Ambiente. Av. Universidad Núm. 1, Col. La Loma Xicohtencatl, Tlaxcala. C. P. 90070.

RESUMEN

Un experimento en invernadero se estableció para determinar la concentración de plomo (Pb) en suelo, raíz y parte aérea de haba y avena; se calculó el factor de bioconcentración y traslocación en las dos especies. Se probaron 50, 100 y 150 mg·Pb·kg⁻¹ de suelo, incluyendo un control. Las plantas se colectaron a los 60 días después de la siembra y se midieron altura de planta (AP), volumen radical (VR) y biomasa seca total (BST), además del contenido de Pb en suelo, raíz y parte aérea. La cuantificación de Pb se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. El suelo cultivado con haba presentó un 28.48 % de Pb_{EDTA}. Las variables AP, VR y BST no fueron afectadas de manera drástica por las concentraciones de Pb probadas. Las plantas de haba y avena absorbieron un total de 55 mg·kg⁻¹ y 45.3 mg·kg⁻¹, respectivamente, las cuales se consideran tóxicas para plantas cultivadas. Los resultados pueden servir de base para ampliar el conocimiento del contenido de Pb absorbido y traslocado en plantas de haba y avena, ya que la capacidad de tolerar y absorber Pb es específica de la especie, inclusive de la variedad de planta.

Recibido: 10 de febrero, 2010
Aceptado: 20 de julio, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.02.002
http://www.chapingo.mx/revistas

PALABRAS CLAVE: Cultivos, suelo, metales pesados, contaminación

ABSTRACT

A greenhouse experiment was established to determine the concentration of lead (Pb) in soil, root and aerial part of broad bean and oats. The bioconcentration and translocation factors in the two species were calculated, and 50, 100 and 150 mg·Pb·kg⁻¹ of soil, including a control, were tested. Plants were collected 60 days after sowing and plant height (PH), root volume (RV) and total dry biomass (TDB) were measured, as well as Pb content in soil, root and aerial part. The quantification of Pb was performed by atomic absorption spectrophotometry. The soil cultivated with broad bean presented 28.48 % Pb_{EDTA}. The PH, RV and TDB variables were not drastically affected by the Pb concentrations tested. The broad bean and oat plants absorbed a total of 55 mg·kg⁻¹ and 45.3 mg·kg⁻¹, respectively, which are considered toxic concentrations for cultivated plants. The results can serve as a base to expand knowledge of Pb content absorbed and translocated in broad bean and oat plants, as the ability to tolerate and absorb Pb is specific to the species, including the variety of plant.

KEY WORDS: Crops, soil, heavy metals, pollution.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población provoca el uso intensivo del suelo para la producción de alimentos, y como resultado aumenta la aplicación de fertilizantes, pesticidas y enmiendas orgánicas con el objeto de mejorar la condición nutricional del suelo (Bradl, 2005), lo que aunado al uso de aguas de mala calidad y a la actividad industrial aumenta

INTRODUCTION

A population increase results in the intensive use of land for food production, which in turn leads to increased application of fertilizers, pesticides and organic amendments in order to improve soil nutrient status (Bradl, 2005), which added to the use of poor-quality water and industrial activity increases the concentration of heavy

la concentración de metales pesados (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007). Los metales se transfieren del suelo a las plantas, dependiendo de la especiación química, pH del suelo, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de arcilla, carbonatos y potencial redox. Entre ellos se encuentran el plomo, arsénico, mercurio, cadmio, cromo, níquel y zinc (Kabala y Singh, 2001; Micó *et al.*, 2006).

El plomo (Pb) es un metal que ha sido empleado desde hace más de 5,000 años para activar la economía de varias industrias, ya que se emplea en la fabricación de baterías, pigmentos y municiones, etc. Es un elemento ampliamente distribuido en los suelos; los minerales con Pb más comunes son la galena (PbS), cerusita (PbCO₃) y anglesita (PbSO₄). En los suelos agrícolas se pueden presentar niveles de 2 a 300 mg·kg⁻¹ (Bradl, 2005).

Yang *et al.* (2000) mencionan que los suelos contaminados con Pb pueden causar un decremento en la productividad de los cultivos, ocasionando un serio problema para la agricultura. El incremento significativo en el contenido de Pb en los suelos cultivados se ha observado en la cercanía de las áreas industriales, y aunque no es esencial para las plantas, este elemento se puede absorber y acumular en diferentes partes de las mismas, siendo mayor la concentración en la raíz (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007). Sharma y Shanker (2005) reportan que el contenido de Pb en varios órganos de la planta tiende a decrecer en el siguiente orden: raíz> hoja>tallo>inflorescencia>semilla. Sin embargo, las hojas difieren en su capacidad para acumular Pb; al respecto, Godzik (1993) menciona que el máximo contenido de Pb se localiza en las hojas.

Las plantas expuestas a Pb muestran un considerable decremento en peso seco y una declinación en el contenido de clorofila, y por lo tanto en la actividad fotosintética (Kosobrukhov *et al.*, 2004). Wierzbicka (1998) menciona que el peso seco se ve incrementado en plántulas de maíz debido al aumento de la síntesis de polisacáridos de la pared celular.

El Pb tiene la capacidad de bioacumularse en las plantas y se biomagnifica a lo largo de la cadena alimentaria (Rubio *et al.*, 2004). La absorción del Pb del suelo depende de la especie vegetal, características del suelo y su contenido. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias ante la presencia de metales en su entorno. Unas basan su resistencia a los metales a través de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras prefieren acumular el metal en la parte aérea, en una forma no tóxica para la planta (Llugany *et al.*, 2007).

Existen ciertos factores que permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y

metals (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). Metals are transferred from soil to plants, depending on the chemical speciation, soil pH, organic matter, cation exchange capacity, clay content, carbonates and redox potential. These include lead, arsenic, mercury, cadmium, chromium, nickel and zinc (Kabala and Singh, 2001; Micó *et al.*, 2006).

Lead (Pb) is a metal that has been used for over 5,000 years to boost the economy of various industries, as it is used in the manufacture of batteries, pigments and ammunition, etc. It is a widely-distributed element in soils; the most common minerals with Pb are galena (PbS), cerussite (PbCO₃) and anglesite (PbSO₄). In agricultural soils, Pb levels can range from 2 to 300 mg·kg⁻¹ (Bradl, 2005).

Yang *et al.* (2000) mention that Pb-contaminated soils can result in decreased crop productivity, causing a serious problem for agriculture. A significant increase in Pb content in cultivated soils has been observed in the vicinity of industrial areas, and although not essential for plants, this element can be absorbed and accumulate in different parts of a plant, with the highest concentration occurring in the root (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). Sharma and Shanker (2005) report that Pb content in various organs of the plant tends to decrease in the following order: root>leaf>stem>inflorescence> seed. However, leaves vary in their ability to accumulate Pb. In this respect, Godzik (1993) states that the maximum Pb content is found in the leaves.

Plants exposed to Pb show a considerable decrease in dry weight and a decline in chlorophyll content and, therefore, photosynthetic activity (Kosobrukhov *et al.*, 2004). Wierzbicka (1998) mentions that dry weight increases in maize seedlings due to increased synthesis of cell wall polysaccharides.

Pb has the ability to bioaccumulate in plants and biomagnifies throughout the food chain (Rubio *et al.*, 2004). Pb absorption from soil depends on the plant species as well as soil characteristics and content. Plants can adopt different strategies in the presence of metals in their environment. Some base their resistance to metals on an efficient exclusion of the metal, limiting its transport to the aerial part. Others prefer to accumulate the metal in the aerial part, in a non-toxic form to the plant (Llugany *et al.*, 2007).

There are certain factors that provide insight into the ability of plants to absorb and translocate metals from the ground to the aerial part (Lokeshwari and Chandrappa, 2006). Olivares and Peña (2009) define the bioconcentration factor (BF) as the ratio between the concentration of metals in the aerial organs and that in the soil, while the translocation factor (TF) is defined as the ratio between

traslocar metales del suelo a la parte aérea (Lokeshwari y Chandrappa, 2006). Olivares y Peña (2009) definen al factor de bioconcentración (FB) como el cociente entre la concentración de metales en los órganos aéreos y la del suelo; mientras, el factor de traslocación (FT) es definido como el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y raíz (Zhang *et al.*, 2006; Olivares y Peña, 2009).

Por lo anterior, los objetivos del trabajo son: 1) determinar la concentración de Pb en raíz y parte aérea de haba y avena; además de Pb extractable en suelo para calcular la bioconcentración de Pb en las plantas; 2) calcular el factor de traslocación de Pb de la raíz a la parte aérea en las dos especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en invernadero con un suelo procedente del municipio de Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, estado de Tlaxcala, México, localizado en los 19° 50' N y 98° 21' O. Para el muestreo del suelo se empleó el método de zig zag, como lo establece la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). En el laboratorio el suelo se secó a temperatura ambiente y a la sombra; posteriormente, se tamizó en malla 2 mm con el objeto de homogenizar el tamaño de partícula. Se tomó una muestra para determinarle de acuerdo a la NOM-021: pH (relación 1:2 suelo:agua), conductividad eléctrica (CE) en extracto de saturación, materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, textura empleando el hidrómetro de Bouyoucos, y la concentración de Pb extractable se determinó por EDTA (ácido dietilentriaminopentacético) al 0.005 M, cuantificado por espectrofotometría de absorción atómica.

El material vegetal utilizado para el experimento fueron semillas de haba y avena procedentes de suelos libres de agroquímicos, localizados en el municipio citado, las cuales fueron lavadas con hipoclorito de sodio al 3 % y 3 enjuagues de agua destilada (Curto *et al.*, 2005).

Se estableció un diseño unifactorial con cuatro tratamientos (50, 100 y 150 mg·kg⁻¹, incluyendo un control) con 10 repeticiones cada uno, lo que dio un total de 40 unidades experimentales por especie. El suelo se mezcló perfectamente con la respectiva concentración de Pb en un recipiente de plástico; como contaminante se utilizó nitrato de plomo Pb(NO₃)₂. La unidad experimental fue una maceta de plástico de 500 g; las semillas se sembraron de manera directa en el suelo, y durante el crecimiento y desarrollo de las plantas bajo condiciones de invernadero la humedad del suelo se mantuvo constante.

Las plantas se cosecharon a los 60 días y se midió altura de planta (AP) con una regla graduada en centímetros, enseguida se cortó la parte aérea al ras del suelo y con cuidado se extrajo la raíz, la cual se lavó con

the concentration of metal in the aerial organs and that in the roots (Zhang *et al.*, 2006; Olivares and Peña, 2009).

Therefore, the objectives of the study are: 1) determine the Pb concentration in the roots and aerial part of broad bean and oats, plus extractable Pb in soil to estimate the bioconcentration of Pb in the plants; 2) calculate the Pb translocation factor from the roots to the aerial part in both species.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in a greenhouse with soil from the municipality of Ixtacuixtla de Mariano Matamoros in the state of Tlaxcala, Mexico, located at 19° 50' N and 98° 21' W. For soil sampling the zigzag method was used, as established by NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). In the laboratory the soil was dried at room temperature and in the shade. Then it was sifted through a 2-mm mesh in order to homogenize particle size. A sample was taken to identify it according to NOM-021: pH (1:2 soil: water ratio), electrical conductivity (EC) in saturation extract, organic matter (OM) by the Walkley and Black method, texture using the Bouyoucos hydrometer, and the extractable Pb concentration was determined by EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) at 0.005 M, measured by atomic absorption spectrophotometry.

The plant materials used for the experiment were broad bean and oat seeds from agrochemical-free soils, located in the above mentioned town, which were washed with a 3 % solution of sodium hypochlorite and 3 rinses of distilled water (Curto *et al.*, 2005).

A single factor design with four treatments (50, 100 and 150 mg·kg⁻¹, including a control) was established with 10 replications each, giving a total of 40 experimental units per species. The soil was thoroughly mixed with the respective Pb concentration in a plastic container. As a contaminant, lead nitrate, Pb(NO₃)₂, was used. The experimental unit was a 500 g plastic pot. The seeds were sown directly in the soil, and during the growth and development of the plants under greenhouse conditions, soil moisture remained constant.

Plants were harvested at 60 days and plant height (PH) was measured with a ruler in centimeters. Next, the aerial part was cut off at ground level and the root was carefully extracted and washed with distilled water to measure root volume (RV) by the volume of water displaced in a cylinder of 500 and 100 mL for broad bean and oats, respectively (Wu *et al.*, 2005).

Then the aerial part and root were placed in paper bags to dry them in an oven at a temperature of 75 °C for 24 hours. Finally, dry weight was obtained in an analytical

agua destilada para medir volumen radical (VR) mediante el volumen de agua desplazada en una probeta de 500 y 100 mL para haba y avena, respectivamente (Wu *et al.*, 2005).

Posteriormente se colocaron la parte aérea y la raíz en bolsas de papel para secarlas en horno a una temperatura de 75 °C por 24 horas; al final se obtuvo el peso seco en balanza analítica, y para obtener biomasa seca total (BST) se sumaron los pesos secos de raíz y parte aérea (Zhang *et al.*, 2006). Después, las muestras de la parte aérea y raíz de las plantas se molieron en un mortero de ágata y pasaron por un tamiz de malla 2 mm, para luego ser sometidas a una digestión con una mezcla de ácido perclórico y sulfúrico en proporción 1:4 (Alcántar y Sandoval, 1999).

De cada una de las unidades experimentales se tomó una muestra de suelo, la cual se secó y pasó por una malla con abertura de 2 mm para posteriormente determinar la concentración de Pb_{EDTA} de acuerdo al procedimiento que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). La cuantificación de Pb_{EDTA} en suelo, Pb en raíz y parte aérea (incluyendo tallo y hojas) de haba y avena se cuantificó por espectrofotometría de absorción atómica.

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico Statgraphics versión 4.0, realizando estadística descriptiva de las variables evaluadas, análisis de varianza y una prueba de medias Tukey a un nivel de significancia de 0.05 de probabilidad de error.

Se calculó el factor de bioconcentración de acuerdo a Olivares y Peña (2009) tanto en raíz como en la parte aérea de haba y avena, a través de la siguiente fórmula.

$FB = C_{Pb}$ en tejido vegetal (raíz, parte aérea) / C_{PbEDTA} del suelo

Donde:

FB = Factor de bioconcentración

C_{Pb} = Concentración de Pb en tejido vegetal

C_{PbEDTA} = Concentración de Pb extractable del suelo

y el factor de traslocación de raíz a la parte aérea de haba y avena de acuerdo a Zhang *et al.* (2006) y Olivares y Peña (2009) utilizando la siguiente relación.

$FT = C_{Pb}$ en parte aérea / C_{Pb} en raíz

Donde:

FT = Factor de traslocación

C_{Pb} = Concentración de Pb en la parte aérea y raíz

balance, while total dry biomass (TDB) was calculated by adding the root and aerial part dry weights (Zhang *et al.*, 2006). After that, the plant root and aerial part samples were ground in an agate mortar and passed through a 2 mm-mesh sieve, prior to being subjected to digestion with a mixture of perchloric and sulfuric acid in a 1:4 ratio (Alcántar and Sandoval, 1999).

A soil sample was taken from each of the experimental units, after which it was dried and passed through a mesh with 2 mm openings to subsequently determine the concentration of Pb_{EDTA} according to the procedure established by NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002). The concentration of Pb_{EDTA} in soil and Pb in root and aerial part (including stem and leaves) of broad bean and oat was determined by atomic absorption spectrophotometry.

For data analysis, the Statgraphics version 4.0 statistical package was used to carry out descriptive statistics of the variables evaluated, analysis of variance and a Tukey means test at a significance level of 0.05 probability of error.

The biocalculation factor was calculated according to Olivares and Peña (2009) in both the root and aerial part of broad bean and oats through the following formula:

$BF = C_{Pb}$ in plant tissue (root, aerial part) / C_{PbEDTA} of the soil

Where:

BF = Bioconcentration factor

C_{Pb} = Concentration of Pb in plant tissue

C_{PbEDTA} = Concentration of extractable soil Pb

and the translocation factor from root to aerial part of broad bean and oats according to Zhang *et al.* (2006) and Olivares and Peña (2009) using the following relationship:

$TF = C_{Pb}$ in aerial part / C_{Pb} in root

Where:

TF = Translocation Factor

C_{Pb} = Concentration of Pb in aerial part and root.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo previo a contaminarse con Pb presentó un pH de 7.2, 0.54 % de materia orgánica, 0.56 dS·m⁻¹ de conductividad eléctrica y predominando la fracción arena con 42 %, seguido de arcilla con un 26 %. El Cuadro 1 presenta las concentraciones de Pb_{EDTA} en el suelo, las cuales fueron estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) tanto en el suelo cultivado con haba como en el cultivado con avena. El suelo cultivado con haba presentó una mayor concentración de Pb_{EDTA} que el suelo procedente de avena. Con 50 mg·kg⁻¹ el suelo de haba tuvo un incremento del 37.41 % de Pb_{EDTA} con respecto al suelo cultivado con avena; mientras con 100 mg·kg⁻¹ disminuyó a un 15.66 % y finalmente al contaminar con 150 mg·kg⁻¹ se presentó nuevamente un incremento en un 28.48 %.

Las variables agronómicas AP y VR de haba de acuerdo con el análisis de varianza presentan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$); de acuerdo con la prueba de Tukey (Cuadro 2), los valores de AP fueron diferentes al control con las concentraciones de 50 y 100 mg·kg⁻¹; mientras el VR fue estadísticamente diferente al control en el tratamiento con 100 mg·kg⁻¹. Las concentraciones de Pb utilizadas no impidieron el crecimiento de la planta. En avena los valores de las variables AP, BST y VR mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 3), y la prueba Tukey determinó que el suelo con 150 mg·kg⁻¹ es diferente al control en AP y BST. El VR es diferente al control con respecto a los tratamientos con 100 y 150 mg·kg⁻¹. Estas tres variables medidas en avena incrementaron su valor al aumentar la concentración de Pb en el suelo; en cambio, en las plantas de haba los valores prácticamente se mantienen constantes entre los tratamientos y el control.

CUADRO 1. Contenido de Pb_{EDTA} en un suelo cultivado con haba y avena a los 60 días.

TABLE 1. Pb_{EDTA} content in soil planted with broad bean and oats at 60 days.

Concentración mg·kg ⁻¹ suelo	Suelo de haba (S1) (mg·kg ⁻¹ suelo)	Suelo de avena (S2) (mg·kg ⁻¹ suelo)
0	0.002±0.0004 a*	0.002±0.0004 a
50	26.97±0.4 b	16.88±0.5 b
100	44.76±0.6 c	37.75±0.4 c
150	66.74±0.4 d	47.73±0.8 d

*Letras diferentes indican una diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Media Tukey±DE. n=10.

RESULTS AND DISCUSSION

The soil prior to being contaminated with Pb had a pH of 7.2, 0.54 % organic matter, 0.56 dS·m⁻¹ electrical conductivity and the sand fraction dominated with 42 %, followed by clay with 26 %. Table 1 shows the Pb_{EDTA} concentrations in the soil, which were statistically significant ($P \leq 0.05$) both in the soil planted with broad beans and in that cultivated with oats. The soil planted with broad beans had a higher concentration of Pb_{EDTA} than the soil with oats. With 50 mg·kg⁻¹, the broad bean soil had a 37.41 % increase in Pb_{EDTA} compared to the soil planted with oats, while with 100 mg·kg⁻¹ it decreased to 15.66 % and finally when contaminated with 150 mg·kg⁻¹ it again increased, by 28.48 %.

The PH and RV agronomic variables according to the analysis of variance had statistically significant differences ($P \leq 0.05$). According to the Tukey test (Table 2), the PH values were different than the control with the concentrations of 50 and 100 mg·kg⁻¹, while the RV was statistically different from the control in the treatment with

CUADRO 2. Variables agronómicas de haba y avena a los 60 días en un suelo contaminado con Pb.

TABLE 2. Agronomic variables of broad bean and oats after 60 days in a Pb-contaminated soil.

Concentración mg·kg ⁻¹	AP (cm)		BST (g)		VR (cm ³)	
	Avena	Haba	Avena	Haba	Avena	Haba
0	14.9±1.2 a*	22.8±1.5 b	0.3±0.1 a	2.4±0.7 a	1.0±0.2 a	6±0.2 b
50	16.9±1.1 b	20.5±2.0 a	0.7±0.1 b	2.1±0.6 a	1.2±0.4 ab	5.9±0.2 ab
100	18.2±1.6 bc	21.0±1.4 a	0.7±0.3 b	2.13±0.4 a	1.2±0.6 b	5.8±0.1 a
150	18.9±1.4 c	22.1±1.2 ab	1.6±0.3 c	2.44±0.5 a	2.0±0.4 b	6.0±0.1 b

*Letras diferentes indican una diferencia significativa. Media Tukey ± DE ($P \leq 0.05$). n=10.

CUADRO 3. Contenido de Pb en raíz y parte aérea de haba y avena a los 60 días creciendo en un suelo contaminado con Pb.

TABLE 3. Pb content in root and aerial part of broad bean and oats after 60 days growing in a Pb-contaminated soil.

Concentración mg·kg ⁻¹	Pb parte aérea (mg·kg ⁻¹)		Pb raíz (mg·kg ⁻¹)	
	Avena	Haba	Avena	Haba
0	0.008±0.001* a	0.04±0.01 a	0.04±0.01 a	0.05±0.01 a
50	1.6±0.1 b	1.8±0.1 b	10.1±0.3 b	19.9±0.7 b
100	6.1±0.3 c	6.1±0.5 c	23.9±0.6 c	37.4±0.7 c
150	7.5±0.2 d	8.9±0.2 d	37.8±0.6 d	46.1±0.8 d

*Letras diferentes indican una diferencia significativa. Media Tukey ± DE ($P \leq 0.05$). n=10.

Al comparar la absorción de Pb en raíz y parte aérea, se observó que en ambos cultivos la raíz fue el órgano que presentó los valores más altos, con diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre las dosis probadas, observándose los mayores valores en raíz y parte aérea de las plantas de haba respecto a las plantas de avena; inclusive en el suelo control la raíz de haba presentó un $0.05 \pm 0.01 \text{ mg kg}^{-1}$ y la raíz de avena un $0.04 \pm 0.01 \text{ mg kg}^{-1}$ (Cuadro 3).

En el Cuadro 4 se aprecia la existencia de un factor de bioconcentración $FB > 1$ en la parte aérea y raíz de haba y avena cultivados en el suelo control. Sin embargo, al contaminarse con 50, 100 y 150 mg kg^{-1} ambos, la parte aérea y raíz de avena y haba presentaron un $FB < 1$.

Los valores del factor de traslocación (FT) se reportan en el Cuadro 5. El FT de Pb fue mayor en haba en el suelo sin contaminar; al contaminar con 50 mg kg^{-1} las plantas de avena presentaron un FT de 0.15, mientras las de haba 0.09. Con una concentración en el suelo de 100 mg kg^{-1} el máximo valor de FT se observó en avena y finalmente con 150 mg kg^{-1} el FT disminuyó para las dos especies.

Las concentraciones de Pb en el suelo extraído con DTPA rebasan los límites normales que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002); sin embargo, no se considera peligroso, ya que los valores no exceden los 300 mg kg^{-1} que marca la norma para el establecimiento de cultivos. El DTPA (ácido dietilentriaminopentacético) tiene como finalidad recuperar elementos metálicos que se encuentran en forma intercambiable o ligados a la materia orgánica, además de disolver formas precipitadas, obteniéndose especies de metales móviles y potencialmente móviles (Podlesáková *et al.*, 2001).

100 mg kg^{-1} . The Pb concentrations used did not impede plant growth. In oats the PH, TDB and RV variables showed highly significant differences ($P \leq 0.05$) (Table 3), and the Tukey test determined that the soil with 150 mg kg^{-1} is different from the control in PH and TDB. RV is different from the control with respect to the treatments with 100 and 150 mg kg^{-1} . These three variables measured in oats increased their value when the Pb concentration in the soil was increased, whereas the values for broad bean plants remain almost constant between the treatments and the control.

By comparing the absorption of Pb in root and aerial part, it was observed that in both crops the root was the organ that showed the highest values, with statistically significant differences ($P \leq 0.05$) among the doses tested. The highest values were observed in root and aerial part of broad bean plants compared to oat plants, including in the control soil where the broad bean root showed $0.05 \pm 0.01 \text{ mg kg}^{-1}$ and the oat root $0.04 \pm 0.01 \text{ mg kg}^{-1}$ (Table 3.)

Table 4 shows the existence of a bioconcentration factor $BF > 1$ in the aerial part and root of broad bean and oat grown in the control soil. However, when contaminated with 50, 100 and 150 mg kg^{-1} , both the aerial part and root of oats and broad bean had a $BF < 1$.

The translocation factor (TF) values are reported in Table 5. The TF of Pb was higher in broad bean in the unpolluted soil. When contaminated with 50 mg kg^{-1} , the oat plants showed a 0.15 TF, while the broad bean ones had 0.09. With a soil concentration of 100 mg kg^{-1} , the maximum TF value was found in oats and finally with 150 mg kg^{-1} the TF decreased for the two species.

CUADRO 4. Factor de bioconcentración (FB) de Pb en raíz y parte aérea de haba y avena a los 60 días.

TABLE 4. Bioconcentration factor (BF) of Pb in root and aerial part of broad bean and oats at 60 days.

Haba					
Concentración mg kg^{-1}	Suelo	Parte aérea mg kg^{-1}	Raíz	Factor de bioconcentración (FB)	
				Parte aérea	Raíz
0	0.002	0.04	0.05	20	25
50	26.97	1.8	19.9	0.06	0.73
100	44.76	6.1	37.4	0.13	0.83
150	66.74	8.9	46.1	0.13	0.69
Avena					
Concentración mg kg^{-1}	Suelo	Parte aérea mg kg^{-1}	Raíz	Factor de bioconcentración (FB)	
				Parte aérea	Raíz
0	0.002	0.008	0.04	4	20
50	16.88	1.6	10.1	0.09	0.59
100	37.75	6.1	23.9	0.16	0.63
150	47.73	7.5	37.8	0.15	0.79

Adicionalmente los autores señalan que al contaminar suelos de manera artificial se pueden comparar los efectos que provocan los metales en las plantas, con aquellas que crecen en suelos no contaminados; una desventaja es el hecho de introducir condiciones de alta movilidad del metal que no existen de manera natural en el suelo, ya que el equilibrio entre el suelo y el metal que se introdujo se alcanzaría en décadas. Lokeshwari y Chandrappa (2006) citan que la absorción de Pb por las plantas es regulada por el pH, tamaño de la partícula y capacidad de intercambio del suelo, así como por la exudación de la raíz y otros parámetros fisicoquímicos del suelo. Aunque la concentración total de Pb en muchos suelos contaminados es alta, la fracción biodisponible (soluble en agua e intercambiable) es usualmente muy baja debido a la fuerte asociación del Pb con la materia orgánica, óxidos de Fe-Mn, contenido de arcilla y fosfatos. En el caso del suelo utilizado para el experimento se presentó un bajo contenido de materia orgánica y una baja proporción de arcilla, además de un pH neutro, lo que ocasiona que existan pocos sitios de intercambio (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007).

Las concentraciones de Pb adicionadas al suelo permitieron que las plantas de haba y avena continuaran su crecimiento y desarrollo. Esto es similar a lo encontrado por Wu *et al.* (2005), quienes reportaron que *Vicia cracca* L. crecida en un suelo contaminado con 334 ± 22 mg·kg⁻¹ Pb en el suelo mostró una AP de 79.2 ± 14.6 cm, mientras en el suelo sin contaminar presentó una AP de 80.9 ± 5.9 cm. El contenido de biomasa seca en el suelo contaminado tuvo 10.8 ± 1.7 g y en el suelo sin contaminar 12.6 ± 0.6 g. Los autores concluyen que *Vicia cracca* puede continuar su crecimiento y desarrollo de manera normal. No obstante, Kosobrukhov *et al.* (2004) mencionan que puede existir un decremento del peso seco de algunas plantas al aumentar las concentraciones de Pb en el suelo, dependiendo de la especie vegetal y especiación del metal. La planta de haba en este estudio mostró un incremento en AP, BST y VR al aumentar las concentraciones de Pb al suelo.

Hedaya (2008) reporta que al crecer haba en una solución nutritiva con 48 mM Pb se obtuvo un incremento de su peso seco con respecto al control. No es evidente que el Pb sea esencial para el crecimiento de varias especies de plantas, aunque existen reportes sobre el efecto de estimulación de algunas sales de Pb (Pb(NO₃)₂) a bajas concentraciones sobre el crecimiento de plantas (Kabata-Pendias y Pendias, 2001). Experiencias realizadas por Titov *et al.* (1996) indicaron que una concentración de Pb igual a 2 mg·L⁻¹ provocaba una ligera disminución en el crecimiento de las raíces de cebada; una concentración igual a 20 mg·L⁻¹ causaba una reducción severa y ante una concentración de 200 mg·L⁻¹ el crecimiento era fuertemente afectado. Sin embargo, los tallos resultaban más resistentes y aún a una concentración de 2 g·L⁻¹ el crecimiento no era suprimido.

Pb concentrations in the soil extracted with DTPA exceeded the normal limits established by NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002); however, this is not considered dangerous since the values do not exceed the 300 mg·kg⁻¹ standard for crop establishment. The DTPA (diethylenetriaminepentaacetic acid) is used to recover metallic elements that are found interchangeably or are linked to organic matter, plus dissolve precipitated forms, obtaining mobile and potentially mobile metal species (Podlesáková *et al.*, 2001).

Additionally the authors note that by artificially contaminating the soil the effects produced by metals in plants can be compared with those grown in uncontaminated soil. One disadvantage of this method is the fact that high metal mobility conditions are introduced which do not occur naturally in the soil, since the balance between the soil and the metal introduced would be reached in decades. Lokeshwari and Chandrappa (2006) mention that plant Pb uptake is regulated by soil pH, particle size and exchange capacity, plus root exudation and other physicochemical soil parameters. Although the total Pb concentration in many contaminated soils is high, the bioavailability fraction (water soluble and exchangeable) is usually very low due to the strong association of Pb with organic matter, Fe-Mn oxides, clay content and phosphates. As for the soil used in this experiment, it presented low organic matter content and a low proportion of clays, along with a neutral pH, which results in only a few exchange sites (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).

The Pb concentrations added to the soil allowed the broad bean and oat plants to continue their growth and development. This result is similar to that found by Wu *et al.* (2005), who reported that *Vicia cracca* L. grown in soil contaminated with 334 ± 22 mg·kg⁻¹ Pb in soil showed a PH of 79.2 ± 14.6 cm, while in the unpolluted soil it showed a PH of 80.9 ± 5.9 cm. The dry biomass content in the contaminated soil was 10.8 ± 1.7 g and in the unpolluted soil 12.6 ± 0.6 g. The authors conclude that *Vicia cracca* can continue to grow and develop normally. However, Kosobrukhov *et al.* (2004) mention that a decrease in dry weight can occur in some plants by increasing Pb concentrations in soil, depending on the plant species and metal speciation. The broad bean plant in this study showed an increase in PH, TDB and RV by increasing Pb concentrations in the soil.

Hedaya (2008) reports that growing broad bean in a nutrient solution with 48 mM Pb resulted in an increase in its dry weight compared to the control. It is not clear that Pb is essential for the growth of various plant species, although there are reports on the stimulation effect of some Pb salts (Pb(NO₃)₂) at low concentrations on plant growth (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Experiments conducted by Titov *et al.* (1996) indicated that a Pb concentration equal to 2 mg·L⁻¹ caused a severe reduction, and at a concentration of 200 mg·L⁻¹ growth was strongly affected. However, the

Díaz *et al.* (2001) reportaron que en *Triticum aestivum* bajo condiciones de hidroponía y con 100 mg Pb·L⁻¹ en la etapa de espigamiento aparecieron franjas cloróticas a lo largo de las hojas, como consecuencia de la disminución del contenido de clorofila y de la deficiencia de micronutrientes. Por ello concluyen que a concentraciones relativamente elevadas y dependiendo de la etapa de desarrollo, el Pb puede alterar el balance nutricional y los procesos fisiológicos de la planta, tales como la síntesis de clorofila, fotosíntesis y el crecimiento, dando como consecuencia cambios morfológicos en la planta.

Békésiova *et al.* (2008) trabajaron con raíz de haba, chícharo, cebada, maíz y soya, las cuales fueron expuestas a diferentes concentraciones de Pb (300 y 500 mg·L⁻¹); en cada caso los efectos tóxicos fueron reflejados en el retardo del crecimiento de la raíz al compararlo con el control. La especie más tolerante fue haba y la más sensible cebada. Sin embargo, cereales como trigo, arroz, avena, cebada, maíz y sorgo son plantas que recientemente se han propuesto para ser utilizadas como plantas fitorremediadoras, ya que tienen la capacidad de tolerar altas concentraciones de metales, entre los que se encuentra el Pb (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007).

Los niveles de Pb acumulados en la raíz y parte aérea de haba y avena a los 60 días de crecimiento se incrementaron con las concentraciones de Pb. Los resultados muestran que más Pb fue localizado en la raíz que en la parte aérea. Estos resultados concuerdan con los reportados por Malkowski *et al.* (2002), quienes señalan que la concentración de Pb es mayor en la raíz de plántulas de maíz al incrementarse las concentraciones de Pb en solución. De la misma manera, Hedaya (2008) determinó una mayor concentración de Pb en la raíz que en hojas de haba, y Wu *et al.* (2005) reportan, en el mismo sentido, que la raíz de *Vicia cracca* absorbe una mayor cantidad de Pb en la raíz. Las raíces pueden acumular arriba de 3 a 50 veces más Pb que las hojas (Wozny *et al.*, 1995). Zhang *et al.* (2006) reportaron que en un suelo contaminado con Pb a una concentración de 388±23 mg·kg⁻¹ la raíz de *Vicia faba* absorbe una mayor cantidad de Pb 273.1±2 y el tallo 3.3±1.1 mg·kg⁻¹, coincidiendo con los resultados obtenidos en este trabajo.

Las concentraciones probadas en este estudio permitieron que las plantas de haba acumularan en su tejido una concentración total de 55 mg Pb·kg⁻¹, y las plantas de avena una cantidad de 45.3 mg·kg⁻¹. Kabata-Pendias y Pendias (2001) consideran que niveles de Pb en las plantas de 30 a 300 mg·kg⁻¹ son tóxicos, y de 5 a 10 mg·kg⁻¹ son niveles normales; por ello, de acuerdo con estos autores, los niveles de Pb encontrados en las plantas de avena y haba, son considerados como niveles tóxicos si se toma en cuenta la planta completa, pero sí se considera sólo la parte aérea los niveles encontrados se encuentran dentro del rango de normales, y en raíz los valores son tóxicos.

stems were more resistant and even at a concentration of 2 g·L⁻¹ growth was not suppressed.

Díaz *et al.* (2001) reported that in *Triticum aestivum* under hydroponic conditions and with 100 mg Pb·L⁻¹ at the tasseling stage, chlorotic stripes appeared along the leaves, as a result of the decrease in chlorophyll content and the deficiency of micronutrients. Therefore they conclude that at relatively high concentrations and depending on the stage of development, Pb may alter the nutrient balance and plant physiological processes, such as chlorophyll synthesis, photosynthesis and growth, leading to morphological changes in the plant.

Békésiova *et al.* (2008) worked with broad bean, pea, barley, corn and soybean roots, which were exposed to different concentrations of Pb (300 and 500 mg·L⁻¹). In each case the toxic effects were reflected in root growth retardation compared to the control. The most tolerant species was broad bean and the most sensitive barley. However, grains such as wheat, rice, oats, barley, maize and sorghum are plants that have recently been proposed for use as phytoremediation plants because they have the ability to tolerate high concentrations of metals, including Pb (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).

The Pb levels accumulated in the root and aerial part of broad bean and oats at 60 days of growth increased with the concentrations of Pb. The results show that more Pb was located in the root than in the aerial part. These results are consistent with those reported by Malkowski *et al.* (2002), who note that the concentration of Pb is higher in the root of maize seedlings with increasing concentrations of Pb in solution. Similarly, Hedaya (2008) found a higher concentration of Pb in the root than in the leaves of broad bean, and Wu *et al.* (2005) report, in the same sense, that the root of *Vicia cracca* absorbs a greater amount of Pb in the root. Roots can accumulate from 3 to 50 times more Pb than leaves (Wozny *et al.*, 1995). Zhang *et al.* (2006) reported that in a soil contaminated with Pb at a concentration of 388±23 mg·kg⁻¹, the root of *Vicia faba* absorbs a greater amount of Pb 273.1±2 and the stem 3.3±1.1 mg·kg⁻¹, coinciding with the results obtained in this work.

The concentrations tested in this study allowed the broad bean plants to accumulate in their tissue a total concentration of 55 mg Pb·kg⁻¹, and oat plants an amount of 45.3 mg·kg⁻¹. Kabata-Pendias and Pendias (2001) considered that Pb levels in plants from 30 to 300 mg·kg⁻¹ are toxic and 5 to 10 mg·kg⁻¹ are normal. Hence, according to these authors, the Pb levels found in oat and broad bean plants are considered toxic levels if the whole plant is taken into account, but if only the aerial part is considered the levels found are within the normal range, while the root values are toxic.

CUADRO 5. Factor de traslocación (FT) de Pb en haba y avena a los 60 días.

TABLE 5. Translocation factor (TF) of Pb in broad bean and oats at 60 days.

Concentración mg·kg ⁻¹	Factor de traslocación (FT)	
	Haba	Avena
0	0.8	0.2
50	0.09	0.15
100	0.16	0.25
150	0.19	0.19

Rashed y Awadallah (1998) mencionan que las hojas de haba presentaron 0.1 mg·kg⁻¹ de Pb al realizar un muestreo de plantas en suelos agrícolas cercanos a asentamientos urbanos, concluyendo que los niveles encontrados no son considerados tóxicos para el hombre o animales. Existen valores de referencia para el suelo, pero para especies vegetales pocos países son los que tienen una normatividad para metales pesados; por ejemplo, Noruega ha establecido que cereales y leguminosas deben tener 0.1 mg·kg⁻¹ de tejido vegetal, Australia 2.0 mg·kg⁻¹ tejido vegetal en hortalizas y Reino Unido, 1.0 mg·kg⁻¹ en frutas y hortalizas (Ansorena, 1996). La concentración permitida de Pb en vegetales de hoja en Europa (EC, 2006) es de 0.3 mg·kg⁻¹ peso fresco y 2 mg·kg⁻¹ peso seco. En México, hasta este momento no se tienen límites establecidos.

La bioconcentración de Pb en haba y avena en el suelo control fue > 20 en la parte aérea y raíz; McGrath y Zhao (2003) mencionaron que para una fitoextracción exitosa de metales es necesario alcanzar valores de FB > 20. Sin embargo, aun con valores de FB bajos, las plantas de haba y avena pueden absorber concentraciones mayores de Pb.

Zehra *et al.* (2009) reportaron que los valores de FB pueden ser mayores en suelos no contaminados que en suelos contaminados dependiendo de la especie de planta, sus exudados, las propiedades fisicoquímicas del suelo, concentración y las formas químicas del contaminante en el suelo. Kabata-Pendias y Pendias (2001) señalan que los exudados de las raíces de las plantas tienden a acidificar el medio, lo que trae como consecuencia una disminución del pH, ocasionando que los metales sean biodisponibles.

La planta de trigo acumula concentraciones de 380 mg·kg⁻¹ de Pb, y el valor de FB generalmente decrece al incrementar la concentración de Pb en el suelo (Wang *et al.*, 2002). En plantas como *Silybum marianum* y *Rumex dentatus* los valores de FB respecto al Pb fueron mayores en raíz y tallo, 0.33, 0.149; 0.037, 0.164, respectivamente (Zehra *et al.*, 2009).

En el Cuadro 5 se observa que el factor de traslocación (FT) tanto en la planta de haba como de avena

Rashed and Awadallah (1998) mention that broad bean leaves had 0.1 mg·kg⁻¹ of Pb in a sampling of plants on agricultural land near urban settlements, concluding that the levels found are not considered toxic to humans or animals. There are reference values for soil, but for plant species only a few countries have regulations for heavy metals. For example, Norway has established that grains and legumes must have 0.1 mg·kg⁻¹ of plant tissue, Australia 2.0 mg·kg⁻¹ of plant tissue in vegetables, and the United Kingdom 1.0 mg·kg⁻¹ in fruits and vegetables (Ansorena, 1996). The allowable Pb concentration in leafy vegetables in Europe (EC, 2006) is 0.3 mg·kg⁻¹ fresh weight and 2 mg·kg⁻¹ dry weight. In Mexico, as of this writing no limits have been established.

Bioconcentration of Pb in broad bean and oats in the control soil was > 20 in the aerial part and root. McGrath and Zhao (2003) mentioned that for successful phytoextraction of metals it is necessary to achieve BF values > 20. However, even with low BF values, broad bean and oat plants can absorb higher concentrations of Pb.

Zehra *et al.* (2009) reported that BF values may be higher in uncontaminated than contaminated soils depending on the plant species, its exudates, soil chemical properties, and the concentration and chemical forms of the contaminant in the soil. Kabata-Pendias and Pendias (2001) indicate that plant root exudates tend to acidify the medium, which results in a decrease in pH, causing the metals to be bioavailable.

Wheat plants accumulate concentrations of 380 mg·kg⁻¹ of Pb, and the BF value generally decreases with increasing concentrations of Pb in soil (Wang *et al.*, 2002). In plants such as *Silybum marianum* and *Rumex dentatus*, the BF values in relation to Pb were higher in root and stem, 0.33, 0.149, 0.037, 0.164, respectively (Zehra *et al.*, 2009).

Table 5 shows that the translocation factor (TF) in both broad bean and oat plants is less than 1. In this regard, Baker (1981) states that a TF above 1 indicates that there is a translocation from the root to the aerial part, which is characteristic of accumulating plants, while the TF value of 0.1 indicates that there is an exclusion of the metal within the plant tissue (Khan *et al.*, 2009), which is observed in broad bean and oats with concentrations of 50, 100 and 150 mg·kg⁻¹, except in oats with the concentration of 100 mg·kg⁻¹, which presented a TF of 0.25.

CONCLUSIONS

The Pb concentrations added to the soil allowed the growth and development of broad bean and oat plants. The root of the two species was the organ that had the highest Pb concentrations. The results from this study can serve as a basis for expanding the knowledge of Pb content

es menor a 1. Al respecto, Baker (1981) señala que un FT por encima de 1 indica que se produce una traslocación de la raíz a la parte aérea, lo cual es característico de las plantas acumuladoras. Mientras, el valor de FT 0.1 señala que existe una exclusión del metal dentro del tejido de la planta (Khan *et al.*, 2009), lo que se observa en haba y avena con las concentraciones de 50, 100 y 150 mg·kg⁻¹; excepto en avena con la concentración de 100 mg·kg⁻¹, la cual presentó un FT de 0.25.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de Pb incorporadas al suelo permitieron el crecimiento y desarrollo de las plantas de haba y avena. La raíz de las dos especies fue el órgano que presentó las mayores concentraciones de Pb. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden servir de base para ampliar el conocimiento del contenido de Pb absorbido y traslocado en plantas de haba y avena, ya que la capacidad de tolerar y absorber Pb es específica de la especie, inclusive de la variedad de planta.

LITERATURA CITADA

- ALCÁNTAR, G. G.; SANDOVAL, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 156 p.
- ANSORENA, M. J. 1996. La contaminación del suelo. *Sustrata* 40 (1): 1 – 49.
- BAKER, A. J. M. 1981. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 3: 643-654
- BÉKÉSIÓVÁ, B.; HRASKA, S.; LIBANTOVÁ, J.; MORAVCIKOVÁ, J.; MATUSIKOVÁ I. 2008. Heavy-metal stress induced accumulation of chitinase isoforms in plants. *Mol. Biol. Rep.* 35: 579-588.
- BRADL, H. B. 2005. Heavy metals in the environment. Elsevier Academic Press, Netherlands. 283 p.
- CURTO, L. L.; GUZMÁN, M. J.; SÁNCHEZ, G. M. 2005. Técnicas para el desarrollo en angiospermas. 2ª. edición. Coordinación de servicios editoriales. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 178 p.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF). 2002. NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. 31 de diciembre 2002. 85 p.
- DÍAZ, A. I.; LARQUÉ, A. U.; ALCÁNTAR, G.; CARRILLO, R.; VÁZQUEZ, A. 2001. Alteración de algunos procesos fisiológicos en trigo por la adición de plomo. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 17: 79-90.
- EUROPEAN COMMISSION (E. C.). 2006. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. European Commission. Regulation No. 1881/2006. 364: 19-20.
- GODZIK, B. 1993. Heavy metal contents in plants from zinc dumps and reference area. *Pol. Bot. Stud.* 5: 113-132.
- HEDAYA, A. K. 2008. Lead accumulation and its effect on photosynthesis and free amino acids in *Vicia faba* grown hydroponically. *Australian J. Basic Appl. Sci.* 2 (3): 438-446.

absorbed and translocated in broad bean and oat plants, as the ability to tolerate and absorb Pb is specific to the species, including the variety of plant.

End of English Version

- KABALA, C.; SINGH, B. R. 2001. Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. *J. Environ. Qual.* 30: 485-492.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. 2001. Trace elements in soils and plants. Third edition. C.R.C. Press Boca Raton Florida, USA. 413 p.
- KABATA-PENDIAS A.; MUKHERJEE, A. B. 2007. Trace elements from soil to human. Springer Berlin. 561 p.
- KHAN, S.; FAROOQ, R.; SHAHBAZ, S.; KHAN, A. M.; SADIQUE, M. 2009. Health risk assessment of heavy metals for population via consumption of vegetables. *World App. Sci. J.* 6: 1602-1606.
- KOSOBROUKHOV, A.; KNYAZEVA, I.; MUDRIK, V. 2004. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: growth and photosynthesis. *Plant Grow. Regul.* 42: 145-151.
- LLUGANY, M.; TOLRÁ, R.; POSCHNRIEDER, C.; BARCELÓ, J. 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas* 16(2): 1-7.
- LOKESHWARI, H.; CHANDRAPPA, G. T. 2006. Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation. *Current Sci.* 91(5): 622-627.
- MALKOWSKI, E.; KITA, A.; GALAS, W.; KAREZ, W.; KUPERBERG, M. 2002. Lead distribution in corn seedling (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. *Plant and Soil.* 37: 69-79.
- McGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr. Opin. Biotechnol.* 14: 277-282.
- MICÓ, C.; RECATALÁ, L.; PERIS, M.; SÁNCHEZ, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 65: 863-872.
- OLIVARES, E.; PEÑA E. 2009. Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación. *Interciencia.* 34: 604-611.
- PODLESÁKOVÁ, E.; NEMECEK, J.; VÁCHA, R. 2001. Mobility and bio-availability of trace elements in soils. In: ISKANDAR, I.K. and KIRKHAM, M.B (editors). 2001. Trace elements in soil. Bioavailability, flux and transfer. Lewis Publishers. United States of America. 286 p.
- RASHED, M. N.; AWADALLAH, R. M. 1998. Trace elements in faba bean (*Vicia faba* L.) plant and soil as determined by atomic absorption spectroscopy and ion selective electrode. *J. Sci. Food. Agric.* 77: 18-24.
- RUBIO, C.; GUTIÉRREZ, A. J.; MARTÍN-IZQUIERDO, R. E.; REVERT, C.; LOZANO, G.; HARDISSON, A. 2004. El plomo como contaminante alimentario. *Rev. Toxicol.* 21: 72-80.
- SHARMA, P.; SHANKER, R. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant. Physiol.* 17(1): 35-52.
- TITOV, A. F.; TALANOVA, V. V.; BOEVA, N. P. 1996. Growth responses of barley and wheat seedlings to lead and cadmium. *Biol.*

- Plant. 38(3): 431-436.
- WANG, R. Q.; LIU, M. X.; CUI, S. Y.; DONG, T. Y.; CHRISTIE P. 2002. Responses of legume and non-legume crop species to heavy metals in soils with multiple metal contamination. J. Environ. Sci. Health. A. 37: 611-621.
- WIERZBICKA, M. 1998. Lead in the apoplast of *Allium cepa* L. root tips-ultra structural studies. Plant Sci. 133: 105-119.
- WOZNY, A.; SCHNEIDER, J.; GWOZDZ, E. A. 1995. The effects of lead and kinetin on greening barley leaves. Biol. Plant. 37: 541-552.
- WU, C.; CHEN, X.; JIANJUN, T. 2005. Lead accumulation in weed communities with various species. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 36: 1891-1902.
- YANG Y-Y.; JUNG, J.; SONG, W.; SUH, H.; LEE, Y. 2000. Identification of rice varieties with high tolerance or sensitivity to lead and characterization of the mechanism of tolerance. Plant Physiol. 124:1019-1026.
- ZHANG, X.H.; LIN, A. J.; CHEN, B. D.; WANG, Y. S.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. 2006. Effects of *Glomus mosseae* on the toxicity of heavy metals to *Vicia faba*. J. Environ. Sci. 18: 721-726.
- ZEHRA, S. A.; ARSHAD, M.; MAHMOOD, T.; WAHEED, A. 2009. Assessment of heavy metal accumulation and their translocation in plant species. African J. Biotechnology. 8: 2802 – 2810.