

Asimilación de cadmio y plomo por tabaco cv. “Criollo 98” en un suelo contaminado artificialmente. Parte I: características morfológicas de la planta

José Manuel Pérez Meléndez, Iris Castillo Martínez y Dagoberto Paz Falcón

Facultad de Agronomía y Forestal, Universidad de Pinar del Río, CP: 20 100

E-mail: melendez@af.upr.edu.cu

RESUMEN. Se estudió *Nicotiana tabacum* L. cv. “Criollo 98” cultivada en un suelo contaminado artificialmente con cadmio y plomo para evaluar sus posibilidades como planta acumuladora de metales pesados, especialmente de cadmio. Se empleó un diseño experimental de bloque al azar con 4 tratamientos y 3 réplicas. Tratamientos: T1, Testigo; T2, dos aplicaciones de Cd al suelo (0,50 kg/ha); T3, dos aplicaciones de Pb al suelo (0,50 kg/ha); T4, dos aplicaciones de Cd+Pb al suelo (0,50 kg/ha de cada elemento). Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas en la altura de las plantas ni en el diámetro del cuello de la raíz. Se encontraron diferencias significativas en el área foliar para los diferentes tratamientos, así como entre la masa seca de las diferentes partes de la planta. También se encontraron diferencias significativas entre los índices morfológicos (PA/PR y TAN) estudiados, no obstante, las plantas crecieron sin mostrar síntomas visuales de intoxicación.

Palabras clave: *Nicotiana tabacum*, fitorremediación, metales pesados, cadmio, plomo.

ABSTRACT. *Nicotiana tabacum*, “Criollo 98” variety cultivated in artificially polluted soil with Cadmium and Lead was studied. Their possibilities for heavy metals uptake were evaluated, especially of Cadmium. An experimental design of random block with 4 treatments and 3 replies it was used. Treatments: T1, soil test; T2, two soil applications of Cd (0,50 kg/ha); T3, two soil applications of Pb (0,50 kg/ha); T4, two soil applications of Cd+Pb (0,50 kg/ha of each element). Significant differences don't exist in the height of the plants and diameter of the root. Significant differences exist in the total area of the leaves for the different treatments, as well as among the dry mass of the different parts of the plant. They were also significant differences among the studied morphological indexes (PA/PR and TAN). The plants grew without showing visual symptoms of intoxication.

Key words: *Nicotiana tabacum*, phytoremediation, heavy metals, cadmium, lead.

INTRODUCCIÓN

Diferentes trabajos revelan la capacidad de la planta de tabaco para acumular cantidades significativas de algunos de los metales pesados más importantes, los cuales presentan elevados niveles de toxicidad. Las plantas del tabaco tienen una capacidad específica, inusualmente alta, de absorber el Cd del suelo y acumularlo en las raíces y en las hojas. Esta capacidad es significativamente diferente entre las distintas variedades. Por ejemplo, *N. rustica* y *N. rutifolia* acumulan bajas cantidades en las hojas, pero altas cantidades en las raíces; mientras, se encontró que la especie *Nicotiana tabacum* es altamente acumuladora tanto en las hojas como en la raíz. (Angelova *et al.*, 2004)

El cadmio es una amenaza importante para la salud ambiental y humana debido a su constante incremento por la actividad del hombre. Existe, por lo tanto, la necesidad de establecer procedimientos rentables para la remediación de estos metales pesados. (García *et al.*, 2003)

Todas las plantas tienen un potencial para extraer metales del suelo, pero algunas plantas muestran una habilidad para extraer, acumular y tolerar altos niveles de metales pesados, los cuales pueden resultar tóxicos para otros organismos. Tales plantas son denominadas hiperacumuladoras. Las plantas hiperacumuladoras están extendidas por todo el reino vegetal. La hiperacumulación de metales es una adaptación ecofisiológica a suelos con altos contenidos de metales

(Deng *et al.*, 2004). Este mecanismo no es bien conocido todavía, pero experimentos realizados apoyan la hipótesis de que el trabajo de hiperacumulación es un mecanismo de defensa contra plantas patógenas, y para prevenir a los depredadores. (Gisbert *et al.*, 2003) Sin embargo, el potencial para la aplicación de plantas hiperacumuladoras en la biorremediación es limitado por un grupo de factores. De acuerdo con Podar *et al.* (2004) una especie hiperacumuladora de cadmio será aquella cuyas plantas puedan acumular en sus hojas más de 100 mg/kg de este elemento.

Otro elemento a tener en cuenta es que la mayoría de las plantas hiperacumuladoras crecen lentamente y su biomasa es pequeña. Robinson *et al.* (2000) sugieren que, para que pueda ser utilizada en técnicas de biorremediación, la planta debe ser de rápido crecimiento, bien enraizada, de fácil propagación y ser capaz de acumular cantidades crecientes del metal tóxico. Según Romkens *et al.* (2002) también debe tener una alta producción de biomasa. Todos los factores analizados anteriormente tienen una óptima respuesta en la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*).

Las plantas adecuadas para llevar a cabo técnicas de fitorremediación deben cumplir algunas características como: tolerancia al metal que haya que eliminar, que la acumulación se produzca fundamentalmente en la parte aérea de la planta, así como un rápido crecimiento y alta producción de biomasa en la parte aérea. (Robinson *et al.* 2000; Romkens *et al.*, 2002)

Teniendo en cuenta todos los elementos expuestos anteriormente, se diseñó y realizó un experimento, cuyo objetivo fundamental fue estudiar la respuesta de la planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, cv, "Criollo 98", en un suelo contaminado con cadmio y plomo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en áreas del Instituto Politécnico de Agronomía "Tranquilino Sandalio de Noda", ubicado en el km 8 ½ de la carretera Pinar del Río-La Coloma, en la provincia de Pinar del Río, a una altura de 26,25 m sobre el nivel del mar a los 281,600 km al norte y 224,100 km al este del sistema de coordenadas planas "Cuba Norte de ICGS".

El suelo, sobre el que se realizó esta experiencia es un fluvisol, según la clasificación de Hernández, 1994.

El área experimental ocupó 114 m², en la cual se plantó la variedad "Criollo 98" con un marco de plantación de 0,76 x 0,25 m. Esta área estaba dividida en 12 parcelas de 2,50 m de largo por 3,8 m de ancho (9,50 m²), cada parcela contaba con 5 surcos y 10 plantas, para un total de 50 plantas por parcela. De cada parcela se muestrearon 10 plantas. La plantación se realizó el día 23 de enero de 2003. El riego y la fertilización se realizaron de acuerdo con el instructivo técnico.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con 4 tratamientos y 3 réplicas. Tratamientos: T1, Testigo; T2, dos aplicaciones de Cd al suelo (0,50 kg/ha); T3, dos aplicaciones de Pb al suelo (0,50 kg/ha); T4, dos aplicaciones de Cd+Pb al suelo (0,50 kg/ha de cada elemento). La metodología utilizada para la caracterización de los suelos fue la referenciada por Sastre *et al.* (2002) y Nicholson *et al.* (2003).

Para cada uno de los tratamientos se utilizaron dosis de 0,50 kg/ha del elemento activo, dividido en 2 aplicaciones, en cada uno de los momentos de fertilización seguido del riego. La primera aplicación se realizó a los 8 días después de la siembra y la segunda aplicación 21 días después de la primera aplicación.

Los portadores utilizados fueron el PbAc₂*3H₂O y CdSO₄. Se le adicionó EDTA, formando así portadores en forma de quelato.

A los 26 días de plantadas las posturas se comenzaron a realizar las mediciones (18/02/03) de altura a 10 plantas de cada tratamiento, tomadas de forma aleatoria realizándose cada 7 días y hasta los 70 días (3/04/03). Esta se midió desde la superficie del suelo hasta el extremo de la yema apical. Se determinaron, además, el diámetro del cuello de la raíz (DCR), la masa seca aérea (MSA), la masa seca radical (MSR), la masa seca total (MST) y el área foliar (cm^2). Se determinaron los índices morfológicos Relación Parte aérea/Parte radical (PA/PR) sobre la base de los pesos de las masas secas de estas partes de la planta y la Tasa de

asimilación neta (TAN) ($\text{g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$).

Los análisis estadísticos efectuados, estadística descriptiva, cálculo de correlaciones, análisis de componentes principales y otros se realizaron con el paquete estadístico SPSS para Windows Versión 10 de diciembre de 2001 (SPSS 10.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un análisis preliminar de las parcelas objeto de estudio. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Características del suelo antes de las aplicaciones

pH KCl	mg/100g de suelo.		%	%	cmoles/kg de suelo						
	P ₂ O ₅	K ₂ O			Ca	Mg	Na	K	S*	T*	V*
5,4	16,5	18,4	0,03	1,5	3,87	0,73	0,03	0,17	4,80	5,8	82,8

S* (Suma de cationes de cambio o suma de bases) T* (Capacidad de cambio catiónico)

V* (Porcentaje de saturación de bases)

Otra muestra del área experimental fue analizada con el método analítico de Espectroscopía de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente, con el objetivo principal de

caracterizar el suelo del experimento en función de los contenidos iniciales de cadmio y plomo presentes. Estos resultados se aprecian en la tabla 2.

Tabla 2. Contenido de cadmio y plomo y otros nutrientes esenciales

Var.	%					mg/kg suelo						
	K	Ca	Mg	P	Fe	B	Cu	Ni	Mn	Zn	Cd	Pb
Media	0,14	0,175	0,06	0,03	0,84	1,25	12,75	4,13	223,8	23,5	0,38	17,38
E. std	0,028	0,005	0,009	0,003	0,04	-	0,25	0,37	8,2	1,5	0,12	1,87
D. std	0,04	0,007	0,013	0,004	0,057	-	0,35	0,53	8,8	2,12	0,18	2,65

Al comparar los resultados obtenidos para los elementos K, Ca, Mg y P con los obtenidos en la tabla anterior, y haciendo las transformaciones de unidades correspondientes, se encuentra que los resultados de la tabla 1 son ligeramente inferiores, lo que se debe a que los resultados del análisis de emisión se corresponden con contenidos totales del elemento en la muestra.

Análisis de las características morfológicas de la planta

El análisis estadístico realizado no arrojó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos con respecto a la variable altura a los 70 días. La desviación estándar alcanza un valor de 10,66, lo que contribuye a que,

a pesar de existir diferencias en la altura, con respecto a los tratamientos, estas no son significativas (tabla 3). Estos resultados coinciden con trabajos de varios autores, quienes exponen que la planta de tabaco puede desarrollarse en un suelo contaminado por cadmio y plomo, y no mostrar síntomas visuales de toxicidad.

El análisis estadístico realizado al comportamiento del diámetro en el cuello de la raíz (DCR), tal y como se aprecia en la tabla 3, no arrojó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, obteniéndose un comportamiento similar a la variable altura.

En la tabla 3 se muestra la variación del área foliar con respecto a los diferentes tratamientos. Se observan diferencias significativas entre los tratamientos. La mayor reducción se presenta en los tratamientos en los que se incluye al plomo,

aunque también el área foliar disminuye significativamente en el tratamiento con cadmio. Se aprecia una influencia muy marcada del elemento plomo en el desarrollo del área foliar, que es muy superior a la que produce la presencia del elemento cadmio. Se conoce que el plomo puede provocar cierta inhibición del desarrollo del área foliar debido a que puede producir toxicidad a nivel celular, y contribuye a la inhibición de la actividad enzimática. (Williams, 2000) Este autor se refiere al efecto tóxico del plomo asociado a la disminución del área foliar y afectaciones en el sistema radical de la planta. Aunque se conoce de la elevada toxicidad del cadmio, es conocida también la afinidad de la planta de tabaco por este elemento, lo que pudiera indicar que se requiere de niveles más elevados de este elemento para producir afectaciones más severas en los diferentes parámetros de la planta. (Tsadilas *et al.*, 2005)

Tabla 3. Indicadores morfológicos y fisiológicos de la planta

Variable	Testigo	Cd	Pb	Cd+Pb	E. std	D. std
Altura (cm)	93,43a	93,60a	87,97a	89,97a	0,97	10,66
DCR (mm)	19,42a	19,65a	20,03a	19,00a	0,16	1,76
Área foliar (cm ²)	239,2a	178,8b	155,3c	155,1c	4,19	45,93
m (hojas secas) g	42,7a	43,2a	26,5c	33,0b	0,77	8,43
m (tallo seco) g	28,9b	34,1a	22,1c	21,7c	0,50	5,52
m (raíz seca) g	16,8b	26,1a	9,9d	12,5c	0,59	6,43

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

La disminución del área foliar puede estar relacionada con el efecto de metales pesados tales como el cadmio y el plomo, en la actividad de las auxina-oxidasas, lo que provoca un menor crecimiento de las células y por tanto una disminución del área foliar. (Janouskova *et al.*, 2005) En altas concentraciones, estos metales pueden llegar a ser extremadamente tóxicos, causando síntomas tales como clorosis y necrosis, decoloración de la hoja y la inhibición del crecimiento de la raíz. (Fojta *et al.*, 2006; Evangelou *et al.*, 2006) En el nivel celular, la toxicidad puede resultar de unir a los grupos sulfidrilos en las proteínas de tal modo que inhiben la actividad enzimática o la función de la proteína, o producen una deficiencia de otros iones esenciales. (Evangelou *et al.*, 2004) Otras posibilidades incluyen la interrupción de

los procesos y del daño oxidativo del transporte de la célula. Así, los sistemas disponibles para la adquisición de los iones del metal por las raíces, el transporte y la distribución alrededor de la planta, y la regulación de sus concentraciones citosólicas son claramente integrales al crecimiento vegetal y al desarrollo normal. (Day *et al.*, 2003)

Como se puede observar en la tabla 3, en la producción de masa seca de las hojas se muestran diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos con plomo y combinado, lo que se corresponde con la disminución del área foliar de las mismas.

Resulta interesante el hecho de que no existan diferencias significativas entre la masa seca del

testigo y la masa seca del tratamiento con cadmio. Como se apreciará más adelante, el cadmio se acumula fundamentalmente en la hoja, específicamente en el primer corte o libra de pie. Esto parece indicar que este elemento participa o inhibe algunas reacciones fisiológicas de la planta. Esto puede estar dado por las características del cadmio, similares al zinc y a otros microelementos que sí tienen una probada participación en diferentes procesos fisiológicos que ocurren en la planta.

Se observa que este comportamiento se repite para la masa seca del tallo y la masa seca de la raíz, lo que indica que el cadmio parece favorecer la producción de masa seca, aunque de forma indirecta, impidiendo la presencia de hongos y bacterias que afectan a la planta. (Millis *et al.*, 2004; Katarina *et al.*, 2005)

Con respecto a la masa seca del tallo se aprecia que existen diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento con cadmio. Se observa un incremento apreciable de la masa seca del tallo en el tratamiento con cadmio, con respecto al testigo, efecto que se repite en el caso de la masa seca de la raíz. No se aprecian diferencias significativas entre sí, en los tratamientos con plomo y combinados, pero estos difieren significativamente con el testigo y con el tratamiento con Cadmio, lo que nuevamente parece indicar la influencia del cadmio en la producción de masa seca.

En el caso de la masa seca de la raíz, se produce un efecto similar a la masa seca del tallo. Existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, resaltando el hecho de que en el tratamiento con cadmio es donde se obtiene la producción de mayor cantidad de masa seca en la raíz, mientras que en los tratamientos con plomo es donde se aprecia una disminución marcada, lo cual indica el efecto negativo del plomo en esta producción de masa seca. En general, se aprecia que el cadmio favorece una mayor producción de masa seca, no así en el caso del plomo.

Algunos autores (Varvara *et al.*, 2001) refieren que las plantas acumulan el plomo en las raíces y en los tallos, inhibiendo por tanto el desarrollo y crecimiento de la parte radical, lo que coincide con lo planteado por Williams *et al.* (2000), en el sentido de que este elemento, por su toxicidad, causa inhibición del crecimiento de la raíz. Esto se corresponde con los resultados obtenidos en la tabla 4.

Evaluación de los índices morfológicos

- Relación parte aérea / parte radical (PA/PR):

Como se observa en la tabla 4 existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, lo cual está relacionado con los resultados obtenidos en cuanto a la producción de masa seca de la parte aérea de la planta y la parte radical.

Tabla 4. Índices morfológicos

Tratamiento	Testigo	Cd	Pb	Cd+Pb	E. std	D. std
PA/PR	4,31b	2,97c	5,77a	3,95b	0,12	1,27
TAN (g cm ⁻² día ⁻¹)	0,005c	0,007a	0,005c	0,006b	0,0001	0,001

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan.

En el tratamiento con plomo se observaron los mayores valores de la relación PA/PR, debido al poco desarrollo del sistema radical provocado por este tratamiento (Varvara *et al.*, 2001), lo que se corresponde con la influencia inhibitoria del Pb en la fotosíntesis, en la acción enzimática y en el crecimiento de la planta.

- Tasa de Asimilación neta:

Como se puede observar en la tabla 4 el resultado del análisis estadístico realizado a los valores obtenidos para la Tasa de Asimilación Neta (TAN) indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos Testigo, cadmio y

combinado. No se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos Testigo y Tratamiento con plomo. Teniendo en cuenta que la TAN es una relación entre la masa seca media y el área foliar media, es de esperar que el tratamiento con cadmio presente el mayor valor en esta variable, lo que se corresponde con lo explicado anteriormente sobre la variación del área foliar y la masa seca.

Al tratamiento combinado le corresponde el segundo lugar en el valor de esta variable y a continuación los tratamientos Testigo y Tratamiento con plomo no difieren significativamente en los valores de la TAN. Esto puede estar dado porque en la misma proporción en que disminuye la parte aérea, también disminuye la parte radical, aunque se aprecia una disminución (no significativa dado el alto valor de la desviación estándar) en el tratamiento con plomo. Por otra parte, este resultado también puede estar dado porque el efecto del cadmio sobre la acumulación de materia seca está por encima de lo que inhibe el plomo la actividad fotosintética. Aunque no está claro en el caso del cadmio el papel que juega este elemento en la acumulación de materia seca, o sea, que está por esclarecer si su influencia es sobre el estímulo de la actividad fotosintética o sobre la inhibición de la actividad respiratoria.

CONCLUSIONES

1. Las aplicaciones de cadmio y plomo por separado, así como la aplicación conjunta de ambos metales pesados no afectaron el crecimiento de la planta (altura) ni el diámetro en el cuello de la raíz.
2. La aplicación de cadmio y plomo afectó el desarrollo del área foliar en las plantas.
3. La aplicación de cadmio por separado, no afectó la producción de masa seca total en la planta. La aplicación de cadmio combinado con el plomo, sí produjo una afectación en la producción de masa seca total.

4. Se encontraron diferencias significativas entre los índices morfológicos estudiados.
5. No se pudo apreciar que las plantas presentaran síntomas de toxicidad por la presencia de cadmio y plomo en las concentraciones estudiadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Angelova, V.; K. Ivanov and R. Ivanova (2004): "Effect of Chemical Forms of Lead, Cadmium, and Zinc in Polluted Soils on Their Uptake by Tobacco", *Journal of Plant Nutrition*, 27(5): 757-773.
- Day, K.; M. Hutchings and E. John (2003): "The effect of spatial pattern of nutrient supply on the early stages of growth in plant populations", *Journal of Ecology* 91: 305-315.
- Deng, H.; Z. H. Ye and M. H. Wong (2004): "Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China", *Environmental Pollution* 132(1): 29-40, November.
- Evangelou, Michael W. H.; Hatice Daghan and Andreas Schaeffer (2004): "The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil", *Chemosphere* 57(3): 207-213, October.
- _____ (2006): "Evaluation of the effect of small organic acids on phytoextraction of Cu and Pb from soil with tobacco *Nicotiana tabacum*". *Chemosphere* 63: 996-1004.
- Fojta, M.; F. Miloslava; H. Ludek; H. Pivonkov; D. Vlastimil and I. Sestakov (2006): "Electrochemical monitoring of phytochelatin accumulation in *Nicotiana tabacum* cells exposed to sub-cytotoxic and cytotoxic levels of cadmium", *Analytica Chimica Acta* 558: 171-178.
- García, I. y C. Donrroso (2003): Contaminación de suelos por metales pesados, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, España.
- Gisbert, Carmina; Roc Ros; Antonio de Haro; David J. Walker; M. Pilar Bernal; Ramón Serrano and Juan Navarro-Aviñó (2003): "A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for

- phytoremediation”, *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 303(2): 440-445, April.
- Hernández, A.; O. Asconio; F. Ortega; I. Ávila; A. Cárdenas y A. Marrero (1975): Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba, Serie suelos, 23, pp. 1-25.
- Hernández, A.; J. Pérez; J. González; R. Camacho; J. Ruiz; J. Bosh y M. Torres (1994): Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba, p 48. Instituto de los Suelos, Ministerio de la Agricultura, Ciudad de la Habana.
- Janoušková, M.; D. Pavlíková; T. Macek and M. Vosátka (2005): “Influence of arbuscular mycorrhiza on the growth and cadmium uptake of tobacco with inserted metallothionein gene”, *Applied Soil Ecology*. 29(3): 209-214, July.
- Vogel-Mikuš, Katarina; Damjana Drobne and Marjana Regvar (2005): “Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia”, *Environmental Pollution*, 133(2): 233-242.
- Millis, P. R.; M. H. Ramsey and E. A. John (2004): “Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainty in plant uptake and its implications for human health risk assessment”. *Science of the Total Environment* 326: 49-53.
- Nicholson, F. A.; S. R. Smith; B. J. Alloway; C. Carlton-Smith and B. J. Chambers (2003): “An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales”, *The Science of The Total Environment*, 311(1-3): 205-219.
- Podar, Dorina, Michael H. Ramsey and Michael J. Hutchings (2004): “Effect of cadmium, zinc and substrate heterogeneity on yield, shoot metal concentration and metal uptake by *Brassica juncea*: implications for human health risk assessment and phytoremediation”, *New Phytologist*, 163: 313-324. www.newphytologist.org
- Robinson, B.; T. Millis; D. Petit; L. Fung; S. Green and B. Clothier (2000): “Natural and induced cadmium accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation”, *Plant Soil* 227: 301-306.
- Romkens, P.; L. Bouwman; J. Japenga and C. Draaisma (2002): “Potentials and drawbacks of chelate-enhanced phytoremediation of soils”. *Environ. Pollut.* 116: 109-121 pp.
- Sastre, J.; A. Sauquillo; M. Vidal and G. Rauret (2002): “Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction”, *Analytica Chimica Acta*, 462: 59-72 pp.
- Tsadilas, C. D.; N. A. Karaivazoglou; N. C. Tsotsolis; S. Stamatiadis and V. Samaras (2005): “Cadmium uptake by tobacco as affected by liming, N form, and year of cultivation”. *Environmental Pollution*, 134(2): 239-246, March.
- Varvara, P. (2001): “Increase ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn”. Department of Biology, University of Waterloo, Ontario, Canadá, N2 L 361.
- Williams, L.; J. Pittman and J. Hall (2000): “Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants”. *Biochimica et Biophysica Acta* 1465: 104-126.

Recibido: 09/05/2006

Aceptado: 18/06/2006