

Cambios anatómicos en la especie *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst en suelos contaminados por metales pesados

Anatomical changes in the species Cynodon nlemfuensis Vanderhyst in soils contaminated by heavy metals

M.Sc. Ivet Regalado Rodríguez, Lic. Alicia Leiseca Pérez, Lic. Yunier Cabrera Vázquez, M.Sc. Fernando Franco Flores, Dr.C. Carlos Bulnes Goicochea

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento Biología Sanidad, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. En el trabajo se realiza un estudio de las afectaciones tisulares, ocasionados por la acumulación de altas concentraciones de metales pesados (Fe, Ni, Cu, Pb, Co, Mn, Zn) en los órganos vegetativos del *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst. El área estudiada fue la Empresa Cerámica Blanca “Adalberto Vidal” que se encuentra en el municipio San José de Las Lajas. Se determinaron los niveles de concentración de metales totales en los órganos vegetativos de la planta, se pudo constatar que los metales son transportados hacia la partes aéreas, quedando una menor parte en la raíz, lo que se relaciona con la capacidad de transferencia que presentan y a su posible uso en las técnicas de fitorremediación. Los estudios submicroscópicos realizados entre plantas de suelos no contaminados (A) y plantas de suelos contaminados con metales pesados (B) mostraron que las altas concentraciones de metales pesados en los tejidos vegetales, pueden traer cambios anatómicos en los tejidos epidérmicos, parenquimáticos y conductores, xilema y floema, que se expresan por un decrecimiento intercelular, pérdida de la forma y tamaño de las células y compactación de los tejidos con pérdida de los espacios intercelulares.

Palabras clave: suelo contaminado, tejidos vegetales, fitorremediación.

ABSTRACT. This investigation is about the study of the affectations tissues, caused by the accumulation of high concentrations of heavy metals (Fe, Ni, Cu, Pb, Co, Mn, and Zn) in the vegetative organs of *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst. The studied field was at Ceramica Blanca “Adalberto Vidal” in San José de las Lajas municipality. It was determined the levels of concentration of total metals in the vegetative organs of the plant, it was verified that the metals are transported by air parts in a smaller part of the root, that is related with the transfer capacity that present this plant and to it possible use in the Phytoremediation techniques. The studies submicroscopic carried out between plants of non polluted (A) soil and plants of polluted soil with heavy metals (B) showed that the high concentrations of heavy metals in the vegetables tissues, can bring anatomical changes in the epidermal tissues, parenchyma and vascular, xylem and phloem, that are expressed by the decrease intercellular, the loss in the shape and size of the cells and compactation of the tissues with loss of the intercellular spaces.

Keywords: polluted soil, vegetables tissues, phytoremediation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen estudios que demuestran los efectos adversos que tienen los metales pesados en el ecosistema y las secuelas negativas en la salud de los organismos vivos, desde los microscópicos hasta los seres humanos (Förstner, 1995). Las mayores preocupaciones por la contaminación de metales pesados es que estos son elementos persistentes, muy tóxicos, biodisponibles y no biodegradables, aún en muy bajas

concentraciones, que al ser acumulados en algunos organismos se biomagnifican y se incorporan con facilidad en la cadena trófica (Lima, 2005). La fitorremediación es una alternativa de descontaminación, donde se utilizan plantas acumuladoras e hiperacumuladoras para extraer e inmovilizar contaminantes del suelo y las aguas (Becerril *et al.*, 2002). Es una técnica “in situ” que se deriva de métodos Botánicos y Biogeoquímicos y

hace uso de diversas especies para degradar, extraer, inmovilizar y recuperar los suelos contaminados y cualquier otro tipo de material que contenga contaminantes (Evanko & Dzombak, 1997) citado por (Flocco, 2004).

Las plantas han desarrollado mecanismos específicos para absorber traslocar y acumular nutrientes, sin embargo algunos metales y metaloides no esenciales son absorbidos, traslocados y acumulados en ellas debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos por la planta (Lasat, 2000).

Las plantas son organismos sedentarios, base de la cadena alimenticia y sensible a las variaciones medioambientales por lo que reaccionan más rápido ante la presencia de contaminantes que otros organismos, lo que las convierte en elementos idóneos para el monitoreo de la contaminación (Ferrat *et al.*, 2003; Gianazza *et al.*, 2007).

Desde hace algunos años, las plantas están siendo utilizadas como bioindicadores de la contaminación, definidos como organismos cuya presencia y/o abundancia es representativa para una o más propiedades del ecosistema donde se encuentran, por lo que permiten determinar con precisión el impacto de acciones antropogénicas. Es por ello que en la actualidad existe un interés creciente en utilizar las técnicas biológicas que puedan reducir los costos de la remediación de sitios contaminados (Lodewyckx & Mergeay, (2002) por lo que, las estrategias de descontaminación basadas en el empleo de plantas se encuentran entre las técnicas más recientes para la reducción de contaminantes “in situ” (Kant *et al.*, 2000).

Es importante destacar que la captación y acumulación de altas concentraciones de metales pueden ser tóxicas en algunas especies vegetales, causando cambios estructurales y ultraestructurales que afectan el crecimiento y la fisiología de las mismas (Barceló *et al.*, 1988; Vázquez *et al.*, 1992a; Zhao *et al.*, 2000; Han *et al.*, 2004).

Teniendo en cuenta estos criterios, este trabajo se propone como objetivo: Identificar afectaciones en los tejidos vegetales ocasionadas por la acumulación de altas concentraciones de metales pesados en los órganos vegetativos, raíz, tallo y hoja, del *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst.

MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el área experimental que recibe los vertimientos de los desechos de la producción de la Empresa Cerámica Blanca “Adalberto Vidal” que se encuentra ubicada

en Ave 47, circunscripción 25 del Consejo Popular Jamaica, municipio San José de Las Lajas, Mayabeque.

El área muestreada presenta una extensión aproximada de 10 000 m² con una pendiente de 1-15% Guzmán, (2006). El suelo es ferralítico lixiviado amarillento típico eútrico profundo arcilloso (Hernández, 1999).

La selección del área de estudio se basó en la utilización de métodos participativos para el diagnóstico. El levantamiento florístico de la vegetación se realizó en el año 2013. Se seleccionó para el estudio una de las especies predominantes en el área, *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst, la que por sus características de planta perenne es utilizada como alimento en la dieta animal.

Se colectaron cuatro muestras, lavadas con agua destilada, se secaron a 60°C por 96 horas, se tomaron 0,5 g de cada una, se maceraron y se digirieron en ácido clorhídrico, ácido perclórico y ácido nítrico (Alloway, 1995), determinándose el total de metales pesados (Fe, Ni, Cu, Pb, Co, Mn, Zn).

La lectura se realizó por el método de espectrometría de absorción atómica con el equipo Espectrofotómetro Modelo SP9. Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la muestra vegetal se utilizó ANOVA con arreglo bifactorial en un diseño totalmente aleatorizado donde los factores son los órganos vegetativos de la planta. En las determinaciones se emplearon 3 réplicas y para la comparación se utilizó la prueba Turkey al 5% de probabilidad.

Para el escaneado de los tejidos de las muestras vegetales se empleó el microscopio electrónico de barrido Device-TS5130SB, VEGA TSCAN, se realizaron cortes en el tallo y la raíz a 2 cm del punto de inserción de estos órganos. Las muestras de la hoja se cortaron en la porción media de la tercera hoja de la base de la planta (Johansen, 1940). Las muestras fueron fijadas y secadas a vapor de vacío, donde se cubrió con una fina capa de oro calentada eléctricamente hasta que el metal se evapora y parte de él cae sobre la muestra formando una capa muy fina. Para estabilizar la capa del metal se cubrió con una capa de carbono evaporada de un electrodo de carbón adyacente y se procedió al escaneado de las muestras vegetales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los niveles de concentración de metales totales en los órganos vegetativos de la planta *C. nlemfuensis* Vanderhyst, donde se pudo comprobar que los metales, con excepción del Fe, son transportados por la planta hacia la partes aéreas, quedando una menor concentración en la raíz.

TABLA 1. Concentración Total de metales pesados acumulados en la especie vegetal *C. nlemfuensis* Vanderhyst en sus tejidos (mg×kg⁻¹. de MS)

Partes de la planta	Fe	Ni	Cu	Pb	Co	Mn	Zn
Aérea	1541,3b	240a	189a	2518a	170a	218,8a	1193a
Raíz	3575,4a	180b	76,8b	1388b	139b	133,8b	947b
Sx	16,28	4,36	4,34	201,91	4,17	4,56	6,36
CV%	2,21	7,05	11,3	3,58	9,37	8,97	2,06

Estos resultados parecen indicar que existen mecanismos de adaptación y afinidad a acumular altas concentraciones de estos metales sin mostrar la planta signos de toxicidad visibles. Resultados similares han sido obtenidos en esta misma área de estudio en *Cynodon dactylon* (L) Pers (Sánchez *et al.*, 2008).

Berazaín, (1999), alude que entre los mecanismos que definen la capacidad de acumular metales pesados se encuentran aquellos que están ligados a cierto nivel taxonómico como el inter-específico.

Pérez *et al.* (2002), plantea que algunas plantas pueden volverse tolerantes a elevadas concentraciones del metal pesado en los suelos, especialmente Poaceas de pastizales, lo que les permite colonizar áreas contaminadas y germinar sus semillas, concluyendo que en algunos casos se ha mostrado contaminación.

Becker, (2000), refiere que cuando el coeficiente de transferencia es mayor > 1, existe una tendencia gradual a movilizar los metales de la raíz hacia las partes aéreas, lo que indica que es una planta con tendencia acumuladora.

En la Tabla 2 se muestra el análisis de la relación parte aérea/parte radical donde se demuestra que la especie vegetal analizada presenta capacidad de transferir los metales pesado hacia la parte aérea de la planta relacionando este hecho con los posibles usos en las técnicas de fitorremediación de la especie *C. nlemfuensis* Vanderhyst.

TABLA 2: Relación Parte aérea/Parte radical de la concentración de metales pesados en la especie vegetal *C. nlemfuensis* Vanderhyst

Especie	Fe	Cu	Ni	Pb	Co	Zn	Mn
<i>C. nlemfuensis</i> Vanderhyst	0,3	3,1	1,2	21,02	1,7	3	3,7

Se puede observar que la concentración de los elementos (Cu, Ni, Pb, Co, Zn, Mn) superan los estándares permitidos, dándole a la misma un carácter de planta con tendencias acumuladoras, no siendo así para el caso del Fe. Resultados similares fueron obtenidos por Sánchez *et al.*, (2008). Para el caso del Pb y el Zn esta especie es capaz de retener una concentración de (50 949 mg×kg⁻¹) y (1 696 mg×kg⁻¹), respectivamente, superando los valores de Pb (10 000 mg×kg⁻¹) y Zn (1 000 mg×kg⁻¹) de masa seca y la relación parte aérea/parte

radical >1, por lo que presenta un comportamiento similar a una planta hiperacumuladora (Becker, 2000). El hecho de que la especie *C. nlemfuensis* Vanderhyst se pueda considerar como hiperacumuladora, especialmente para el Pb, por presentar mayor concentración de este elemento metálico, podría ser una posibilidad a tener en cuenta para la recuperación de áreas contaminadas. En este sentido (Hittiarachchi & Pierzyndkii, (2002) valoran que los suelos contaminados por Pb se encuentran asociados con Zn, comportamiento similar fue reportado por (Sánchez *et al.*, 2008) en el área. A pesar de que *C. nlemfuensis* Vanderhyst acumula altas concentraciones de metales pesados, se observó que las plantas no mostraron índices de toxicidad. Por lo que se considera que pueden existir mecanismos bioquímicos y fisiológicos que le permiten la supervivencia en estas condiciones (Ross, 1995; Kabata & Pendias, 2001). Los resultados obtenidos sugieren, la necesidad de continuar estudiando el comportamiento de la especie *C. nlemfuensis* Vanderhyst, por los niveles importantes de acumulación y tolerancia a las altas concentraciones de metales pesados existentes en el área estudiada, lo que podría determinar su carácter como planta hiperacumuladora favoreciendo la aplicación de técnicas de fitorremediación. Según Pérez (2002), el *C. nlemfuensis* Vanderhyst es una de las especies más empleadas como alimento para el ganado en la región occidental donde representa el 45% del pasto de la zona ganadera con una producción de 500-700 MS/ha/día alcanzando sus valores de crecimiento más altos a los 90 días. Es importante destacar, que la situación anteriormente planteada representa un grave peligro para la salud animal y humana, por ser la parte aérea de esta planta la que es utilizada para el consumo animal lo que provocaría la introducción de contaminantes en la cadena trófica.

Los estudios microscópicos muestran que las altas concentraciones de metales pesados en los órganos vegetativos de las plantas se relacionan con cambios estructurales a nivel de tejido provocando alteraciones morfológicas, fisiológicas y anatómicas en las plantas (Barcelo *et al.*, 1988; Vázquez *et al.*, 1992; Han *et al.*, 2004).

En la Figura 1 se observan las estructuras submicroscópicas (A y B) en un corte transversal en la raíz de *C. nlemfuensis* Vanderhyst. La imagen (A) proviene de una muestra obtenida en un suelo no contaminado y en (B) se utilizó una muestra del área de estudio contaminada con metales pesados.

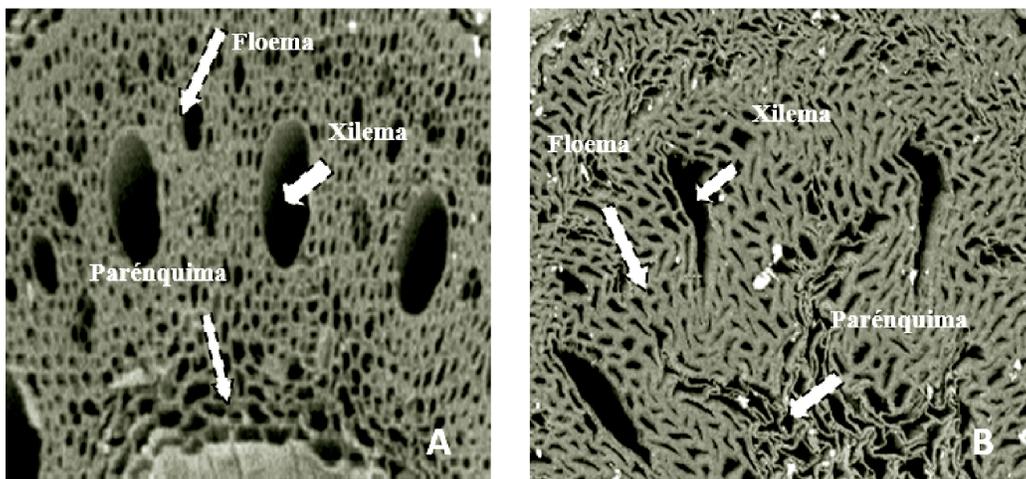


FIGURA 1. Imagen de un corte transversal en la raíz de *C. nlemfuensis* Vanderhyst.

Ambas imágenes muestran el cilindro central de la raíz donde predominan los tejidos conductores, xilema y floema embebidos en el tejido parenquimático.

Evert (2006), al referirse al xilema señala que es el principal tejido conductor del agua y otras sustancias, constituido por las tráqueas que son células muertas muy alargadas, con paredes engrosadas formando tubos perfectos, existiendo una relación entre el largo y el ancho de la luz del tubo que permite un adecuado fluido del agua y los solutos contenidos en esta. El xilema, en unión con el floema, constituido por los tubos cribosos como elementos conductores de sustancias alimenticias, forma un sistema de conducción que recorre todo el cuerpo de la planta.

En el control (A) se observa la anatomía de la raíz propia de este grupo de plantas: las células parenquimáticas conservan su forma poliédrica y el tamaño habitual; los tejidos conductores presentan las

tráqueas y tubos cribosos con las características anatómicas propias de las plantas con este tipo de estructura primaria. En la imagen (B) se muestra un decrecimiento de los espacios intercelulares y una pérdida de la forma y el tamaño de las células parenquimáticas; las tráqueas del xilema y los tubos cribosos del floema han perdido su forma circular por lo que la luz del tubo se ha reducido considerablemente afectando el fluido del transporte del agua y las sustancias alimenticias en relación con el control (A).

En la Figura 2 se observa el control (A) donde aparecen los elementos conductores embebidos en el parénquima cuyas células mantienen su forma poliédrica y los espacios intercelulares propios de este tejido. Se observa también, Las tráqueas del xilema y los elementos cribosos del floema formando un haz colateral cerrado de acuerdo con el grupo de plantas al que pertenece el *C. nlemfuensis* Vanderhyst.

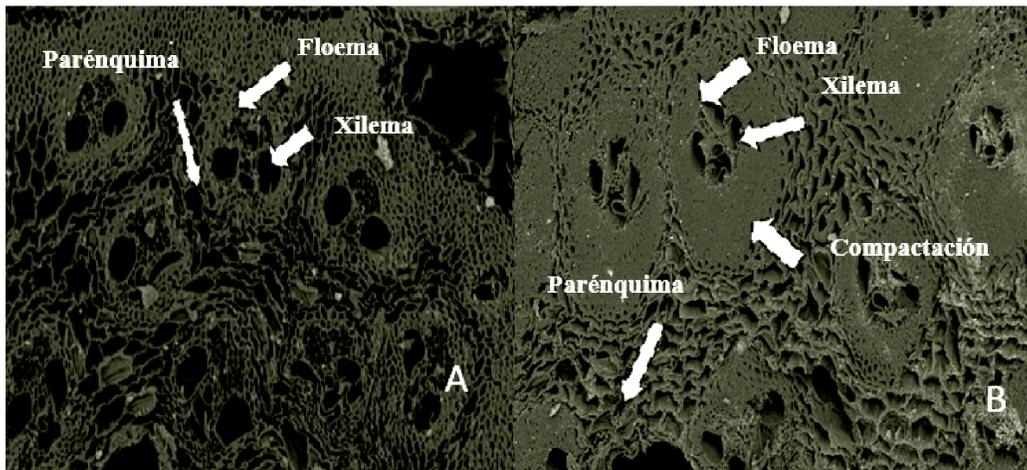


FIGURA 2. Imagen de un corte transversal de *C. nlemfuensis* Vanderhyst en tallo.

En la muestra de suelos contaminados (B) se evidencia un decrecimiento de los espacios intercelulares del tejido parenquimático y la pérdida de los límites celulares afectando significativamente la forma poliédrica del parénquima dando lugar a una compactación alrededor de los haces conductores con respecto al control (A). Esto parece indicar que se ha producido deposiciones de metales pesados en el tejido parenquimático lo que está en concordancia con Esau's Plant Anatomy, Third edition, by Ray, (2006) donde refiere que el tejido parenquimático es el lugar de la planta donde se acumulan sustancias específicas que se encuentran en exceso en el cuerpo de la planta.

En la Figura 3 se muestra el control (A) donde se observan las células epidérmicas muy unidas, sin espacios intercelulares y cutícula desarrollada, modificación del tejido epidérmico que evita la pérdida excesiva del agua. Las células parenquimáticas clorofílicas muestran su forma y tamaño propio de este tipo de planta.

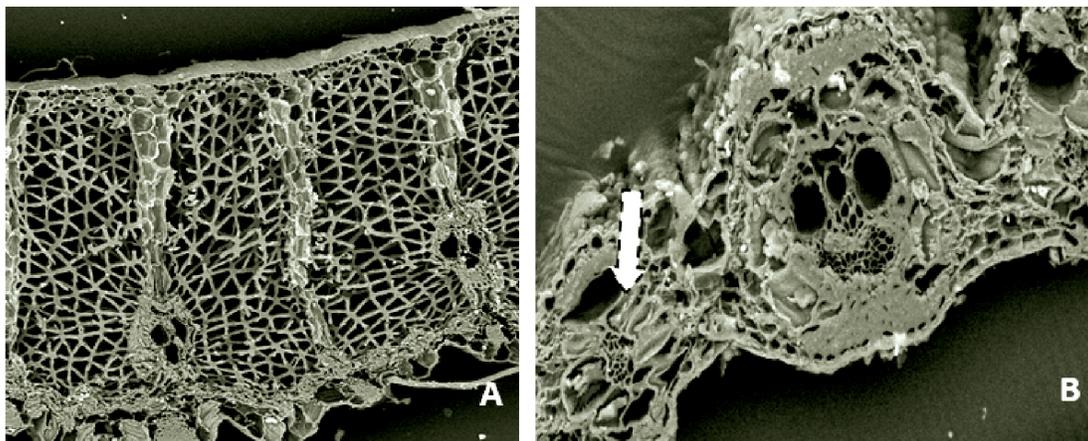


FIGURA 3. Corte transversal en la hoja de *C. nlemfuensis* Vanderhyst.

En la imagen (B), correspondiente al área de suelos contaminados, se observa la sección que rodea al nervio central de la hoja con las células parenquimáticas deformadas y con cierto grado de compactación que incluye la zona donde se localizan los tejidos conductores. En el análisis microscópico del *C. nlemfuensis* Vanderhyst, se observaron modificaciones anatómicas en la raíz, el tallo y la hoja de las muestras contaminadas con respecto al control, que se expresan fundamentalmente por cambios en la forma y tamaño celular, compactación del tejido parenquimático y en los elementos conductores se aprecia reducción y deformación en la luz del tubo de las tráqueas del xilema y los tubos cribosos del floema (Figuras 1, 2, 3); estudios con resultados similares han sido realizados en *Brassica juncea*

y *Arabidopsis halleri* (Barcelo *et al.*, 1988; Kumar *et al.*, 1995; Haag *et al.*, 1999; Durcerková y Huttová, 2007).

CONCLUSIONES

- El *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst es una planta que puede acumular concentraciones significativas de metales pesados.
- Los metales pesados contenidos en *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst tienden a ser trasladados desde las raíces hacia las partes aéreas.
- Se observan cambios anatómicos significativos en los tejidos parenquimáticos y conductores de los órganos vegetativos de la planta, sin mostrar signos visibles de toxicidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOWAY, B. J.: "Heavy metals in soil and cellular distribution in *Arabidopsis halleri* and toxicity of trivalent and hexavalent chromium to *Brassica juncea* L", *Czern, New Phytol.*, (162): 489-499, 1995.
- AISIEN, F.; O. FALEYE: *Phytoremediation of Heavy Metals in Aqueous Solutions*, Ed. Department of Chemical Engineering, University of Benin, Benin City, Nigeria, 2010.
- BAKER, A. J.M. & H. COPE: "Localization of zinc and cadmium in *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae), a metallophyte that can hyperaccumulate both metals", *J. Plant Physiology*, (140): 350-355, 1992.
- BARCELO, J.; C. POSCHENRIEDER; L. ANDREU & B. GUNSE: "Cadmium induced structural and ultrastructural changes in the vascular system of bush bean stems", *Bot. Acta*, (101): 254-261, 1988.
- BECERRIL, J. M.; O. BARRUTIA; J. HERNÁNDEZ; J. GARCÍA; A. HERNÁNDEZ; y C. GARBISU: Fitorremediación y Biorremediación, nuevas para nuevas tecnologías biológicas para la eliminación de los contaminantes del suelo, pp. 145-152, Ciencia y Medio Ambiente, En: *II Jornada Científica*, CCMA-CSIC, La Habana, Cuba, 2002.
- BECKER, A. J.M.: "Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals", *Journal of Plant Nutrition*, (3): 643-654, 2000.
- BERAZAÍN, R.: "Estudios de plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel en las serpentina del caribe", *Rev. Jardín Botánico Nacional*, Vol. XX: 17-20, 1999.
- DUCERKOVA, K & E. HUTTOVA: "Cadmium induces premature xilogenesis in barley roots", *Plant & Soil*, (290): 61-68, 2007.
- FERRAT, L; C. PERGENT & M. ROMEO: "Assessment of the use of biomarkers in aquatic plants for the evaluation of environmental quality: application to seagrasses", *Aq. Tox.*, (65): 187-204, 2003.
- FLOCCO, C: *La fitorremediación una tecnología de remediación de contaminantes orgánicos [en línea]*, Disponible en: <http://www.saic.org.ar/revista/20012/17.htm> [Consulta: mayo 18 2011].
- FÖRSTNER, U: Metal speciation and contamination of soil, pp. 1-33, En: *Land contamination by metals: global scope and magnitude of problem*, Boca Raton, Fla., USA, 1995.
- GIANAZZA, E; R. WAIT; A. SOZZI; S. REGONDI; D. SACO; M. LABRA & E. AGRADI: "Growth and protein profile changes in *Lepidium sativum* L. plantlets exposed to cadmium", *Env. Exp. Bot.*, (59): 179-187, 2007.
- GUZMÁN, A.R: *Impacto de los desechos de la Empresa Cerámica Blanca "Adalberto Vidal" sobre un agroecosistema, municipio San José de las Lajas*, Tesis en opción al título de Máster en Agroecología, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2006.
- HAAG-KERWER, A.; H.J. SCHAFERHEISS; C. WALTER & T. RAUSCH: "Cadmium exposure in *Brassica juncea* causes a decline in transpiration rate and leaf expansion without effect on photosynthesis", *J. Exp. Bot.* (50): 1827-1835, 1999.
- HAN, F.X., MARUTHI SRIDHAR, B.B., MONTS, D.L. & SU, Y.: "Phyto availability", *Plant Cell Environ.*, (23): 507-514, 2004.
- HERNÁNDEZ, A: *Nueva versión de clasificación de los suelos de Cuba*, 193pp., Ed. Agrinfor, La Habana, Cuba, 1999.
- HITTARACHCHI, G. M. & PIERZYNSKI: "In situ stabilization of soil leads using phosphorus and manganese oxide, influence of plant growth". *J. Environ. Qual.*, (31): 564-573, 2002.
- JOHANSEN, D. A.: *Plant Microtechniques*, Ed. McGraw-Hill, New York, USA, 1940.
- KABATA, P. A. & H. PENDIAS: *Trace elements in soil and plants*, pp. 45-66, Third edition, CRC Press, Boca Ratón, Fla., USA, 2001.
- KANT, A; C. KUEK; M. CHAUDHRY & C.S. KHO: "Perifollicular vascularity in poor ovarian responders during", Amsterdam, *Chemosphere*, (41):197-207, 2000.
- KUMAR, NPBA. V. DUSHENKO; H. MOTTO; I. RASKIN: "Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils", *Environ. Sci. Technol.*, (29): 1232-1238, 1995.
- LASAT, M: *The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soils*, pp. 33, Ed. American Association for the Advancement of Science, Environmental Science and Engineering Fellow, USA, 2000.

- LIMA, C. L.: "Niveles de plomo, zinc, cadmio y cobre en el Río Almendares", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21(3): 10-20, 2005.
- LODEWYCKX, C. & M. MERGEAY: "Isolation, characterization and identification of bacteria associated with the zinc hiperaccumulator *Thlaspi caerulescens*", *International Journal of Phytoremediation*, 4(2): 101-115, 2002.
- MÉNDEZ, H. C.A: *Efecto del cadmio disuelto en agua en la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas de Agave Lechuguilla proveniente de zonas con diferente nivel de contaminación por metales*, Tesis en opción al título de Máster en Ciencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C., México, 2010.
- MOHAMMAD, A. H.; P. PUKCLAI; J. TEIXEIRA DA SILVA & F. MASAYUKI: "Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation", *Journal of Botany*, 20(12): 37-, 2012.
- PÉREZ, E.; P. MARRERO; O. CRUZ; E. FERNÁNDEZ; L. PEÑA: La producción agropecuaria y el cálculo de las necesidades alimentarias en el municipio San José de Las Lajas, En: *XIV Fórum de Ciencia y Técnica*, La Habana, Cuba, 2002.
- QUEVEDO, N: *Identificación de especies botánicas que se desarrollan en agroecosistemas contaminados con elementos metálicos y sus potencialidades en la fitorremediación*, Tesis en opción al título de Master en Ciencias del Suelo, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2006.
- RASKIN, I, ENSLEY, & B. D: *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean the Environment*, Ed. Wiley, New York, USA, 2000.
- RAY, F.: *Esau's Plant Anatomy*, Willey interscience a Jonh Willey & inc Publication. Third Edition, University of Wisconsin, Madison, ISBN: 13: 978-0-471-73842-5, New York, USA, 2006.
- ROSS, S. M.: Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils, Toxic metals in soil-plant systems, pp. 63-152, En: *Toxic metals in soil-plant systems*, Willey, New York, USA, 1995.
- SÁNCHEZ, S.; R. VALDES; M.I. BALBÍN: *La fitorremediación en la descontaminación de áreas agrícolas*, Informe final de proyecto CITMA, Ed. Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2008.
- VÁZQUEZ, M.D., J. BARCELO; C.H. POSCHENRIEDER; J. MADICO; P. HATTON; A.J.M. BAKER & G.H. COPE: "Localization of zinc and cadmium in *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae), a metallophyte that can hyperaccumulate both metals", *J. Plant Physiol.*, (140): 350-355, 1992.
- ZHAO, F.J.; E. LOMBI; T. BREEDON & S.P. MCGRATH: "Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*", *Plant Cell Environ.*, (23): 507-514, 2000.

Recibido: 16 de febrero de 2014.

Aprobado: 22 de julio de 2014.

Ivet Regalado Rodríguez, Prof. Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Dpto. Biología Sanidad, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Correo electrónico: ivetreg@unah.edu.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

*Todos nuestros servicios
a su disposición*

BIBLIOTECA ANTONIO MACHADO RUIZ

UNIVERSIDAD DE GRANMA (UGR)