



Palabras clave: *Pistia stratiotes*, cromo, variaciones morfológicas

Key Words: *Pistia stratiotes*, chromium, morphological variations

Cambios en la morfología y en la tasa de crecimiento del repollito de agua (*Pistia stratiotes* L.) asociados a la presencia de cromo

María del Carmen Marozzi; Melina Devercelli; Wanda Polla y Andrea Villalba

Facultad de Humanidades y Ciencias.
Universidad Nacional del Litoral.
Paraje El Pozo (3000). Santa Fe, Argentina.
e-mail: wandapolla@ciudad.com.ar

RESUMEN

Se analizaron los efectos del cromo (concentración de 1 ppm) sobre la morfología y crecimiento de *Pistia stratiotes*. La experiencia, realizada en laboratorio, duró 31 días correspondientes a 6 muestreos. Se estudió volumen de raíz y tallo, número y superficie de hojas, peso seco, relación de peso foliar y tasa de crecimiento. Se aplicó ANOVA o Kruskal Wallis para comprobar diferencias en el tiempo, y test de Student para comparar los acuarios testigo con los tratamientos. El volumen radical y caulinar, y el número y superficie de hojas disminuyeron tanto en las plantas testigo como en las tratadas, aunque en menor medida en estas últimas. El peso seco total y la tasa de crecimiento siguieron el mismo patrón. La raíz de las plantas con cromo fue el único órgano que presentó valores positivos de estos dos parámetros. Los valores de cobertura fueron significativamente mayores en el tiempo en los acuarios contaminados ($p < 0,05$). Estas variaciones no pudieron atribuirse al efecto del contaminante y los vegetales no manifestaron signos drásticos de deterioro, demostrando su eficacia para la remoción del metal del agua. Valores positivos como los de cobertura y tasa de incremento de raíz demostraron que los vegetales toleraron la contaminación.

ABSTRACT

Changes in the morphology and growth rate of water lettuce (Pistia stratiotes L.) associated to chromium effects

Chromium effects (concentration of 1 ppm) on Pistia stratiotes morphology and growth were analysed. The experience was done in a laboratory along 31 days during which 6 samples were taken. The variables studied were root and stem volume, number and surface of leaves, dry weigh, relation of foliar weigh and growth rate relation. ANOVA or Kruskal Wallis were applied to prove differences in time, and Student Test to compare control with treated plants. Caulinar and radical volume and the number surface leaves diminished in control plants as well as in treated ones, although less in the latter. The total dry weigh and growth rate followed the same pattern. Roots of plants with chromium, on the contrary, had a positive value in the last two parameters. Consequently, there was an improvement of time in the covered area of the plants under treatment ($p < 0,05$). Such variations could not be attributed to the effect of chromium besides those plants did not show a drastic deterioration. Showing area that they are efficient to remove the water contaminant in this concentration. Positive values as coverage and root improvement showed the vegetable tolerance to this contaminant.

0329-2177 / 03-04 / 34 y 35: 63-69 © Asoc. Cienc. Nat. del Litoral



INTRODUCCION

Los metales pesados constituyen una forma de contaminación ambiental preocupante, ya que no se degradan como lo hacen los contaminantes orgánicos, sino que tienden a concentrarse en las cadenas tróficas y pueden actuar como tóxicos acumulativos para los consumidores de los niveles superiores (Förstner & Wittman, 1983). Entran a los ambientes acuáticos por desechos industriales, domésticos, agrícolas, o a través de pesticidas y fertilizantes que contienen cantidades significativas y, al no ser fácilmente degradados, se torna necesaria su remoción de los cuerpos de agua. Estudios realizados en la cuenca inferior del río Salado, río Reconquista, río de La Plata y Paraná Inferior determinaron la existencia de altas concentraciones de metales pesados que, en determinadas situaciones, superaron los límites máximos permitidos por la legislación vigente (Colombo, et al., 1994; Villar, et al., 1998; Castañé, et al., 2003).

Diversas técnicas han sido utilizadas con el fin de eliminarlos de los sistemas acuáticos, como la rizofiltración, precipitaciones químicas y microbiológicas (Satyakala & Jamil, 1997; Kaiser, 1999; Cohen-Shoel, et al., 2002). Estos métodos presentan grados de eficacia variable y pueden tornarse costosos según la escala a la que se utilicen. Por otro lado, existe un interés creciente en el tratamiento de aguas contaminadas, mediante sistemas naturales. El empleo de plantas acuáticas como un método alternativo ha sido ampliamente estudiado (Dushenkov, et al., 1995; Adamsson, et al., 1998; Selvaopathy, et al., 1998; Lee, et al., 1999; Obarska-Pempkowiak, 2001) y constituye una técnica económica frente a las mencionadas (Jensen, et al., 1993). *Eichhornia crassipes* es uno de los macrófitos más estudiados y ha demostrado una gran capacidad para la absorción de Cd, Cr, Hg, Pb y Ni. Sin embargo, su excesiva biomasa se torna una desventaja al momento de su cosecha debido al gran peso fresco que posee (Wolverton & Mc. Donald, 1979; Delgado, et al., 1993; Ding, et al., 1994; Ingole & Bhole, 2003).

Pistia stratiotes, vegetal que se encuentra en abundancia en nuestros ecosistemas acuáticos, posee ciertas ventajas sobre otros macrófitos, como rápido crecimiento y fácil manejo en el laboratorio. Su propiedad para disminuir los niveles de metales pesados del agua y, en particular, el cromo, fue señalada en numerosos trabajos (Förstner & Wittman, 1983; De, et al., 1985; Fayed & Hussein,

1985; Prakash, et al., 1987; Sen & Mondal, 1987; Sen & Bhattacharyya, 1994; Satyakala & Jamil, 1997; Maine y Marozzi, 1998; Kaiser, 1999; Kao, et al. 2001; Klump, et al. 2002). Sin embargo, el efecto que este contaminante ocasiona a su morfoestructura es un aspecto escasamente tenido en cuenta en la bibliografía disponible. Por ello, los objetivos de este trabajo fueron evaluar los efectos producidos por el cromo sobre la morfología de órganos vegetativos y sobre el crecimiento de *P. stratiotes*.

MATERIAL Y METODOS

Para la selección del macrófito utilizado se tuvieron en cuenta los criterios planteados por Boyd (1970) y Mitchell (1978), y luego de un ensayo preliminar realizado con varias especies, se eligió al repollito de agua (*Pistia stratiotes* L.).

El material fue colectado de la margen derecha del arroyo Ubajay a la altura del km 14, Rincón Norte (Santa Fe, Argentina). Los macrófitos seleccionados presentaban similares caracteres morfológicos en cuanto a tamaño, color y desarrollo del sistema radical. Se emplearon ejemplares jóvenes, ya que el cromo no se transporta a la madurez y senectud de las plantas (Jastrow & Koeppe, 1980).

Los vegetales se lavaron cuidadosamente y se aclimataron durante 3 días en laboratorio bajo condiciones de luz natural, aireación permanente, temperatura media del agua de 20°C, pH entre 6,7-6,9 y conductividad entre 27-155 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Se utilizaron acuarios plásticos de 10 l de capacidad, conteniendo aproximadamente 100 g de peso fresco del vegetal y 7 l de agua colectada del ambiente. Periódicamente, se agregó agua potable de clorada a fin de compensar las pérdidas por evapotranspiración. Las hojas y las raíces desprendidas de las plantas fueron removidas de los acuarios para evitar un posible aumento de nutrientes en agua, como consecuencia de la necrosis de los tejidos.

La experiencia tuvo una duración de 31 días, y los muestreos se realizaron con una frecuencia de 7 días, a excepción del intervalo entre el primero (M1) y segundo (M2) que fue de 3. El estudio se efectuó sobre plantas testigo y contaminadas, mediante el agregado de 1 ppm de cromo.

Se utilizaron 2 acuarios réplicas para los contaminados y 2 para los testigo (Lee & Wang, 2001), en los que se realizaron mediciones de parámetros morfométricos sobre el 100% de los vegetales. Paralelamente, se destinaron 2 acuarios para las



mediciones de cobertura vegetal, referida al área ocupada por las plantas sobre la película de agua (mediciones en cada muestreo) y peso seco (al inicio y al final de la experiencia). En este último caso, se emplearon además 2 acuarios para las mediciones del peso seco inicial.

Los parámetros morfométricos registrados fueron: volumen de raíz y de tallo, número de hojas por planta, superficie foliar de la planta, peso seco total y por órganos (obtenidos en estufa a 105°C durante 48 hs). Además, se calculó la relación de peso foliar (cociente entre el peso seco de las hojas y el peso seco total) y la tasa de crecimiento según la ecuación de Blackman, modificada por Hunt (1978):

$$r = (\ln W - \ln W_0) / (t - t_0)$$

en la que W es el peso seco alcanzado al final del período, W_0 es el peso seco inicial, t es el tiempo al

final del período de medición y t_0 es el tiempo inicial. Los volúmenes caulinar y radical, así como la superficie foliar fueron calculados mediante fórmulas estereométricas (Duhms, 1979; Marozzi, et al., 2000).

Para el análisis de los datos se efectuó un promedio entre las mediciones de los acuarios tratamiento y réplica. Con el propósito de comprobar estadísticamente diferencias entre los muestreos de las variables morfométricas en cada tratamiento, se aplicó ANOVA (post test de Tuckey) o análisis de Kruskal Wallis (post test de Dunn) según correspondiera, previa verificación de la normalidad (test de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de las varianzas (test de Bartlett). Para comprobar la existencia de diferencias entre las variables morfométricas de las plantas testigo y las

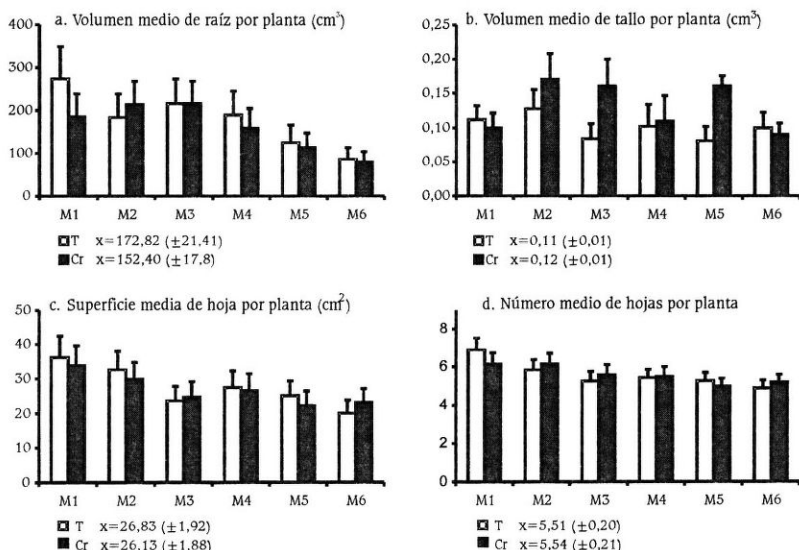


Figura 1

Variaciones temporales de los parámetros morfométricos de *Pistia stratiotes* en vegetales testigo y tratados con 1 ppm de cromo. Valores medios y error estándar de la media en cada muestreo (M1 a M6) y promediados para toda la experiencia (en números).



contaminadas se utilizó el test de Student (T) pareado, con modificación de Wilcoxon en el caso que se requiriera una prueba no paramétrica (Sokal y Rohlf, 1979).

RESULTADOS

La absorción de cromo por *Pistia stratiotes* a una concentración de 1 ppm fue analizada en un trabajo paralelo realizado por Maine *et al.* (1999) en el que se determinó una reducción significativa del 62% del metal pesado en el medio líquido a las 24 hs de exposición al contaminante. Al finalizar la experiencia (31 días) la captación fue del 90% al 95%. El análisis de los resultados obtenidos mostró diferentes respuestas según el órgano vegetal considerado. El volumen radical disminuyó tanto en las plantas testigo como en las contaminadas en un 68,71% y 57,61%, respectivamente, observándose diferencias significativas solo entre los muestreos en las plantas tratadas ($p < 0,05$) (Fig. 1a). Estas últimas manifestaron un aumento del 14,74% en el volumen de raíz a los 3 días de agregado el contaminante, valor que se mantuvo en el tercer muestreo, para luego disminuir progresivamente hacia el final de la experiencia. El descenso del volumen a partir del muestreo 4, debería atribuirse a causas distintas a la acción del cromo, dado que las plantas testigo fueron las que experimentaron mayor reducción. En relación al volumen del tallo, no existió un deterioro aparente, ya que a los tres días de

tratamiento (M2) se observó un aumento en los dos tipos de acuarios (Fig. 1b). Las plantas testigo evidenciaron un volumen variable a lo largo de la experiencia, mientras que en las tratadas los valores fueron superiores en todos los muestreos respecto del M1, a excepción del último. Al comparar el M1 y el M6, se observó un descenso similar en ambos acuarios, (9,1% en las plantas no tratadas y 10 en las tratadas). En ninguno de los dos casos se observaron diferencias significativas a lo largo del tiempo.

El número medio de hojas por planta presentó una reducción constante en las dos condiciones, aunque sin diferencias significativas entre los muestreos (Fig. 1c). En el M6, la cantidad de hojas se redujo en menor medida en las plantas tratadas que en las no tratadas con respecto al inicio, siendo del 16,8 y 29,47%, respectivamente.

La superficie foliar manifestó un comportamiento semejante, alcanzando entre el muestreo 1 y el 6, una reducción del 17,3% en las contaminadas y del 27,8 en las testigo (Fig. 1d). En este caso, las variaciones temporales tampoco evidenciaron diferencias estadísticamente significativas.

Se registraron valores positivos en la cobertura vegetal que fueron del 13,10% para las plantas tratadas y del 7,32 para las no tratadas (Fig. 2.a). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas entre ambos tipos de acuarios ($p < 0,05$). Si bien en el segundo muestreo se produjo un descenso, ocurrió en ambos casos, por lo que no debería atribuirse a la administración del metal pesado.

El peso seco inicial respecto del final, tanto en las

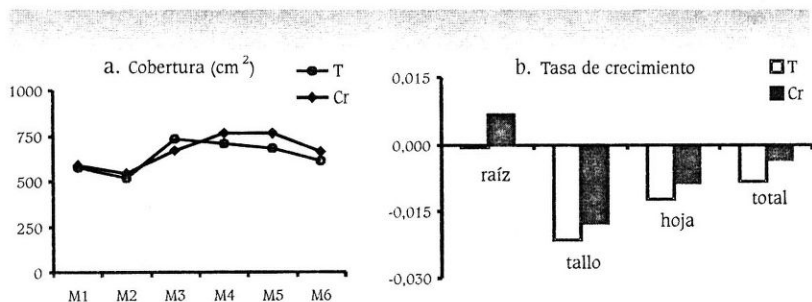


Figura 2

Variaciones temporales de la cobertura vegetal de *Pistia stratiotes*, en vegetales testigo y tratados con 1 ppm de cromo. b. Tasa de crecimiento total y de los distintos órganos de *Pistia stratiotes*, en vegetales testigo y tratados con 1 ppm de cromo.



plantas testigo como en las tratadas disminuyó, aunque en menor proporción, en las últimas (Cuadro 1). Al comparar la biomasa final de las hojas y del tallo, observamos una tendencia regresiva que siempre fue menor en las plantas que absorbieron cromo. La excepción fue la raíz, cuyos pesos finales fueron similares a los iniciales en las plantas testigo, y superiores en las contaminadas, manifestándose como el único órgano que mostró un valor positivo.

Al final de la experiencia la relación del peso foliar sobre el total, fue menor que al inicio en ambos acuarios. Los valores obtenidos denotaron una reducción mayor en las plantas que recibieron el contaminante que en las otras, siendo de 17,4 y 11,59%, respectivamente.

La tasa de crecimiento fue ligeramente negativa en los dos acuarios, aunque la disminución fue mayor en los vegetales testigo (Fig. 2.b). Al efectuar el análisis de los órganos, este mismo patrón se observó en lo que respecta a hojas y tallos. En cambio, la tasa de crecimiento de la raíz fue negativa en las plantas no contaminadas y positiva en las sometidas a la acción del cromo.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La absorción y acumulación de cromo por parte de *P. stratiotes* no ocasionó trastornos importantes en la morfología de las plantas y no se comprobaron efectos inhibitorios en su desarrollo.

Los resultados mostraron disminuciones en los volúmenes de raíz y tallo, y número y superficie de hojas. Sin embargo, estos no pudieron atribuirse al efecto del contaminante ya que las reducciones

fueron menores en las plantas tratadas. Además, a los 3 días de adicionado el cromo, solo los vegetales que lo absorbieron aumentaron los volúmenes de raíz y tallo. Teniendo en cuenta que la absorción es de cinética rápida por lo que su influencia se evidencia inmediatamente (Delgado, *et al.*, 1993; Satyakala & Jamil, 1997), podría pensarse que el metal pesado actuó con un efecto estimulante en el desarrollo de estos órganos.

Si bien el peso seco total y la tasa de crecimiento no mostraron un desarrollo de los vegetales, los valores disminuyeron nuevamente en menor medida en las plantas tratadas. Las raíces sometidas al cromo, a diferencia de los otros órganos, fueron las únicas que tuvieron valores positivos en estos dos parámetros.

Numerosas experiencias demostraron que este metal es acumulado principalmente en las raíces de *Pistia*, y solo un pequeño porcentaje es translocado al resto de la planta (Sen & Mondal, 1987; Vesik and Allaway, 1997; Klump, *et al.*, 2002). El mismo mecanismo fue observado en *Eichhornia crassipes*. Lytle *et al.* (1998) explica que la alta capacidad de acumular cromo en este órgano es atribuida a su habilidad de reducir el Cr(VI) tóxico en las raíces, en Cr(III) no tóxico, y transportar parte de este último a los vástagos. Otra posible explicación de este fenómeno reside en que el cromo formaría complejos con ácidos orgánicos en las raíces, retardando su pasaje al sistema de vástagos (Sigel, 1973; Sen & Mondal, 1987).

Los resultados obtenidos en cuanto al volumen caulinar, permitieron observar que no existe un deterioro aparente, confirmando lo descrito anteriormente sobre este órgano.

Aunque los estudios determinen que la concentración del metal es siempre menor en las hojas, de igual manera la actividad metabólica repercute en los folios, ya que puede inhibir la fotosíntesis y la

Cuadro 1

Variaciones en el peso seco total y por órganos y relación de peso foliar de *Pistia stratiotes*, al inicio y al final de la experiencia en vegetales testigo y tratados con cromo.

	Inicial	Final	
		Testigo	Cromo
Peso seco (g)	7,94	5,93	7,05
Hoja	5,51	3,61	4,05
Tallo	0,11	0,05	0,06
Raíz	2,33	2,27	2,94
Relación de peso foliar	0,69	0,61	0,57



respiración (Castañe *et al.*, 2003). Sin embargo, las variaciones encontradas en el tiempo y entre los vegetales del tratamiento y del control, no fueron significativas como para manifestar signos drásticos de deterioro.

Por otro lado, un efecto positivo sobre el desarrollo de los vegetales pudo observarse mediante las estimaciones de cobertura, cuyos valores fueron significativamente mayores en las plantas tratadas. A la concentración trabajada del cromo, el macrófito no manifestó signos de senescencia. Esto es coincidente con lo expresado por Delgado, *et al.* (1993) quien encontró evidencias de que a concentraciones inferiores a 5 ppm la actividad metabólica de la planta se ve poco afectada, ya que existiría una vía por donde el metal pesado puede ser acumulado en el sistema vacuolar. Según Sen y Mondal (1987) se necesitan concentraciones superiores a 5 ppm para producir una inhibición en la biosíntesis del metabolismo celular y una degradación de procesos bioquímicos.

Todo lo analizado anteriormente, nos permite concluir que *Pistia stratiotes* fue eficiente en la remoción del metal y las variaciones morfológicas producidas no fueron lo suficientemente importantes como para impedir su desarrollo. La capacidad de resistencia frente a la contaminación, quedó sustentada por los valores positivos en cobertura y biomasa de la raíz, órgano donde se acumula la mayor concentración del metal pesado.

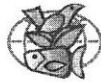
El conocimiento del efecto de los contaminantes sobre los sistemas acuáticos y los macrófitos, vías de acceso de los metales pesados hacia los consumidores, es de importancia para proteger la biodiversidad acuática. Teniendo en cuenta que son capaces de eliminar metales pesados del agua asimilándolos en sus tejidos, los resultados podrían aplicarse para optimizar sistemas de tratamiento de efluentes y como información básica sobre el efecto de este tipo de contaminación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue subsidiado por el Proyecto CAI+D 1966, N° 141, dirigido por la Dra. Ma. Alejandra Maine.

REFERENCIAS

- Adamsson, M., G. Dave, L. Forsberg & B. Guterstam. 1998. Toxicity identification evaluation of ammonia, nitrite and heavy metals at the stensund wastewater aquaculture plant, Sweden. *Water Sci. Technol.* 38(3): 151-157.
- Boyd, C. D. 1970. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. *Econ. Bot.* 24: 95-103.
- Castañe, P. M., M. L. Topalián, R. R. Cordero y A. Salibián. 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados en ambientes acuáticos como determinante de su toxicidad. *Rev. Toxicol.* 20: 13-18.
- Cohen-Shoel, N., Z. Barkay, D. Ilzyer, I. Gilath & E. Tel-Or. 2002. Biofiltration of toxic elements by *Azolla* biomass. *Water Air Soil Pollut.* 135(1-4): 93-104.
- Colombo, J. C., C. Bilos, M. J. Rodríguez Presa y F. Schroeder. 1994. Contaminación química en el río de La Plata. *Gerencia Ambiental*: 420-431.
- De A. K., A. K. Sen & D. F. Modak. 1985. Studies of toxic effects of Hg(II) on *Pistia stratiotes*. *Water Air Soil Pollut.* 24: 351-360.
- Delgado M., M. Bigeriego & E. Guardiola. 1993. Uptake of Zn, Cr and Cd by water haycinths. *Water Res.* 27(2): 269-278.
- Ding, X., J. Jiang, Y. Wang, W. Wang & B. Ru. 1994. Bioconcentration of cadmium in water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in relation to thiol group content. *Environ. Pollut.* 84: 93-96.
- Dushenkov, V., P. B. A. N. Kumar, H. Motto & I. Raskin. 1995. Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ. Sci. Technol.* 29: 1239-1245.
- Eidler, L. 1979. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea: Phytoplankton and chlorophyll. Working Group 9. Publication No. 5. *The Baltic Marine Biologists*, 38 pp.
- Fayed, S. E. y I. A. Hussein. 1985. Accumulation of Cu, Zn, Cd y Pb by aquatic macrophytes. *Environ. Int.* 11: 77.
- Förstner, U. y G. T. W. Wittman, 1983. Metal pollution in the aquatic environment. Second Revised Edition. *Springer-Verlag*, 486 pp.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. Studies in biology N° 96. *Edward Arnold Ltd*, London, 67 pp.
- Ingole, N. W. y A. G. Bhole. 2003. Removal of heavy metals from aqueous solution by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *J. Water SRT-Aqua* 52: 119-128.
- Jastrow, J. D. y D. E. Koeppel. 1980. Uptake and effect of Cadmium in higher plants. (607-631 pp). En: J.O. Nriagu (ed.) Cadmium in the environment. *Editor Wiley, New York*, 682 pp.



- Jenssen, P. D., T. Mahlum & T. Krogstad. 1993. Potencial use of constructed wetlands for wastewater treatment in Northern environments. *Water Sci. Technol.* 28: 149-157.
- Kaiser, J. 1999. Aquatic plants for removal of metal contamination. 16 *Internat. Bot. Cong. Abstract* 4566.
- Kao, C. M., J. Y. Wang, H. Y. Lee & C. K. Wen. 2001. Application of a constructed wetland for non-point source pollution control. *Water Sci. Technol.* 44(11-12): 585-590.
- Klump, A., K. Bauer, C. Franz-Gerstein C, M. de Menezes. 2002. Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic macrophytes along the Rio Cachoira in Bahia (Brazil). *Environ. Int.* 28(3):165-171.
- Lee, C. L., T. C. Wang, C. K. Lin & H. K. Mok. 1999. Heavy metals removal by a promising locally available aquatic plant, *Najas graminea* Del., in Taiwan. *Water Sci. Technol.* 39(10-11): 177-181.
- Lee, W. Y. & W. X. Wang. 2001. Metal accumulation in the green macroalga *Ulva fasciata*: effects of nitrate, ammonium and phosphate. *Sci. Total Environ.* 278: 11-22.
- Lytle, C. M., F. W. Lytle, N. Yang, J. H. Qian, D. Hansen, A. Zayed & N. Terry. 1998. Phytoconversion of hexavalent chromium (Cr^{6+}) to trivalent chromium (Cr^{3+}) by wetland plants. *Environ. Sci. Technol.* 32:3087-3093.
- Maine, M. A. & M. C. Marozzi. 1998. Comportamiento de *Pistia stratiotes* en agua contaminada con cadmio. 26^o *J. Arg. Bot. Río Cuarto*, 207 p.
- Maine, M. A., N. L. Suñe, M. C. Pedro y M. V. Duarte. 1999. Eliminación de Cd y Cr desde aguas utilizando macrofitos. *Información Tecnológica* 10(6): 11-18.
- Marozzi, M. C., M. Devercelli, W. Polla y A. Villalba. 2000. Respuesta de *Pistia stratiotes* L. (Araceae) a la acción de cadmio. *Rev. FABICIB* 4: 149-155.
- Mitchell, D. S. 1978. The potential of wastewater treatment by aquatic plants in Australia. *Water Res. Found. Aust. Bull.* 5(3): 15-17.
- Obarska-Pempkowiak, H. 2001. Retention of selected heavy metals: Cd, Cu, Pb in a hybrid wetland system. *Water Sci. Technol.* 44(11-12): 463-468.
- Prakash, O., I. Mehrotra y P. Kumar. 1987. Removal of cadmium from water by water hyacinth. *J. Environ. Engineering* 113(2): 352-365.
- Satyakala, G. & K. Jamil. 1997. Studies on the effect of heavy metal pollution on *Pistia stratiotes* L. (Water lettuce). *Indian J. Environ. Health* 39(1): 1-7.
- Selvapathy, P., J. J. Jesline y S. Prebha. 1998. Heavy metals removal from wastewater by water lettuce. *Indian J. Environ. Protection* 18(1):1-6
- Sen A. K. & M. Bhattacharyya. 1994. Studies of uptake and toxic effects of Ni(II) on *Salvinia natans*. *Water Air Soil Pollut.* 78: 141-152.
- Sen, A. K. & N. G. Mondal. 1987. *Salvinia natans* as the scavenger of Hg (II). *Water Air Soil Pollut.* 34: 439-446.
- Sigel, H. 1973. Metal ion in Biological Systems. Vol. I. *Marcel Dekker Inc.*, New York.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Ed. Blume, Madrid, 832 p.
- Vesk, P. A. & G. Allaway. 1997. Spatial variation of copper and lead concentrations of water hyacinth plants in a wetland receiving urban run-off. *Aquat. Bot.* 59: 33-44.
- Villar, C., M. Tudino, C. Bonetto, L. De Cabo, y J. Stripeiskis, L. D'huicque & O. Trocoli. 1998. Heavy metals concentration in the lower Paraná and right margin of Rio de la Plata rivers. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 26: 963-966.
- Wolverton, B. C. y C. R. Mc. Donald. 1979. The water hyacinth: from prolific pest to potential provider. *Ambio* 8(1): 2-9.