

Eichhornia crassipes, SU INVASIVIDAD Y POTENCIAL FITORREMEDIADOR

Eichhornia crassipes, ITS INVASIVENESS AND PHYTOREMEDIATION POTENTIAL

María Fernanda Guevara Granja¹ y Lenin Javier Ramírez Cando^{2,3}

¹Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, Universidad Politécnica Salesiana, Av. Isabel la Católica N. 23-52 y Madrid, Quito, Ecuador.

²Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales (GRICAM), Universidad Politécnica Salesiana, Rumichaca y Morán Valverde s/n, Quito, Ecuador.

³Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali (GESAAF), Università degli Studi di Firenze, Piazzale delle Cascine 15, 50144 Firenze, Italy.

Autor para correspondencia: mguevarag@ups.edu.ec

Manuscrito recibido el 30 de julio de 2015. Aceptado, tras revisión, el 3 de diciembre de 2015.

Resumen

El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática perenne, que se emplea como especie ornamental para los estanques. Originaria de Brasil, tiene alta capacidad reproductiva y adaptativa, factores que le han permitido estar entre las 10 malezas más invasivas del mundo, extendiéndose a más de cincuenta países de los cinco continentes, causando efectos adversos sobre la flora y fauna nativa. Además forma densas colonias flotadoras, con el consecuente descenso del flujo de agua en los embalses, reducción de cantidad de luz y disminución de la cantidad de oxígeno disuelto. El principal método de control es aplicación de herbicidas, sin embargo, métodos diferentes tienen mayor aceptación pública (e.g. remoción manual, trituración y empleo de controladores biológicos entre ellos, gorgojos (*Neochetina* spp) y carpa forrajera (*Ctenopharyngodon idella*)). No obstante, sus características, mencionadas como negativas, (p.e. gran capacidad de adaptación, crecimiento en ambientes contaminados, etc) actualmente están siendo muy estudiadas como herramientas en fitorremediación *ex situ*, principalmente como herramienta para la limpieza efectiva de efluentes contaminados con metales pesados, plaguicidas y colorantes vertidos por varias industrias, abriendo la puerta para la investigación a profundidad de esta macrofitas.

Palabras clave: *Eichhornia crassipes*, jacinto de agua, invasividad, métodos de control, fitorremediación.

Abstract

The water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is a perennial aquatic plant, it has been used as an ornamental species for ponds. Native from Brazil, it has high reproductive and adaptive capacities. These factors have allowed *E. crassipes* to be among the 10 most invasive plants in the world propagating in more fifty countries on five continents, causing adverse effects on the native flora and fauna. It forms dense floating colonies that decrease the water flow in reservoirs, reducing the amount of light and dissolved oxygen concentration. Several methods have been applied to control this weed and other introduced aquatic plants. The main one is, is the herbicides application. However, different methods have greater public acceptance (e.g. manual removal, grinding and use of biological controls including weevils (*Neochetina* spp) and herbivorous carp (*Ctenopharyngodon idella*)). Moreover, their characteristics, mentioned as negative (high adaptive capacity, growth in contaminated environments, etc.), are being deeply studied as tools in *ex situ* phytoremediation, principally as a tool for effective cleaning of effluents contaminated with heavy metals, pesticides and dyes discharged by various industries, opening new applications for this macrophyte.

Keywords: *Eichhornia crassipes*, water hyacinth, fitoremediation, control methods, invasivity.

Forma sugerida de citar: Guevara, M. F. y Ramírez, L. 2015. *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 22(2): 5-11. ISSNp: 1390-3799, ISSNc: 1390-8596.

1. Introducción

El jacinto de agua o lechuguín (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática perenne, originaria de la cuenca del Amazonas y otros cuerpos de agua de la región amazónica (Barrett y Forno, 1982), así como de lagos y pantanos del Gran Pantanal del oeste de Brasil. Sus llamativas y grandes flores de color púrpura o violeta hacen que sea una popular planta ornamental para los estanques, que flota libremente en la superficie de aguas tropicales (Seema, 2012). Fue descubierta en 1823 por el naturalista C. Von Martius, estudioso de la flora de Brasil. En la actualidad, *Eichhornia crassipes* está distribuido en el trópico y subtropical entre los 39°N y 39°S (Arteaga Carrera *et al.*, 2010).

La importancia de estudiar *E. crassipes*, consiste en que esta maleza invasiva plantea múltiples peligros que van desde ecológicos hasta sociales incluyendo temas económicos, poniendo en peligro la biodiversidad de múltiples ecosistemas a nivel mundial (Seema, 2012; Mironga, 2006), convirtiéndose en una de las plantas acuáticas más extendidas (Barrett y Forno, 1982), ya que ha sido introducida como plata ornamental para jardines acuáticos en diferentes regiones del mundo.

En la actualidad su reproducción principalmente se da en forma vegetativa por medio de la producción de estolones, no obstante también se puede dar a través de semillas, con un bajo porcentaje de germinación. El crecimiento de *E. crassipes* se ve favorecido por aguas ricas en nutrientes, especialmente por nitrógeno, fósforo y potasio. Además se nutre de calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, aluminio, boro, cobre, molibdeno y cinc. Como se mencionó, su capacidad reproductiva es alta, la biomasa de *E. crassipes* es capaz de duplicarse en un mes a través de reproducción vegetativa, lo que provoca la formación de densas colonias flotadoras, con el consecuente descenso del flujo de agua en los embalses, y reducción en la cantidad de luz. Existe una relación negativa entre la abundancia de *E. crassipes* y las concentraciones de oxígeno disuelto (D.O.), es así que el contenido del oxígeno es menor debajo del manto de *E. crassipes* y puede descender a cero, causando efectos catastróficos sobre peces y otros animales (Labrada *et al.*, 1996). En los hábitats de aguas poco profundas, diferentes especies vasculares acuáticas invasoras son ingenieras del eco-

sistema con una amplia gama de efectos que incluyen reducciones en la abundancia y diversidad de las plantas nativas, así como también modificaciones de hábitats y disminución de disponibilidad de presas para los peces propios del ecosistema invadido (Greco y Freitas, 2002; Greenfield *et al.*, 2007).

Así, cuando una especie invasiva ha estado en un ecosistema lo suficiente como para convertirse en dominante, pueden alterar el funcionamiento del mismo. En efecto, esta degradación del funcionamiento de los ecosistemas es cada vez más común para los ecosistemas acuáticos, especialmente en aguas poco profundas, lagunas y lagos tropicales (Khanna *et al.*, 2012). *E. crassipes* también suprime el crecimiento del fitoplancton y otras plantas sumergidas en los ecosistemas acuáticos (Lung' Ayia *et al.*, 2000; Gopalakrishnan *et al.*, 2011). La eutrofización es uno de los mayores inconvenientes que causa *E. crassipes*, en Sudamérica cerca del 41 % de los lagos sufren este problema (Arteaga Carrera *et al.*, 2010). Es evidente la necesidad de control para reducir el impacto en los cuerpos de agua, causado por la invasión de especies agresivas.

Otro de los problemas (de tipo socio-ambiental) que acarrea esta especie acuática es que sirve como hospedero de larvas de mosquito (Epstein, 1998), lo que ocasiona además de problemas ecológicos, afectaciones económicas y sociales (Khanna, 2010; Greenfield *et al.*, 2007). *E. crassipes* forma densas alfombras impenetrables a través de los cursos de agua y de cuerpos de agua estancada, que ocasiona la obstrucción de los canales de riego que puede generar interferencia con proyectos de energía hidroeléctrica y con la producción de diversos cultivos (Gopalakrishnan *et al.*, 2011; Milne *et al.*, 2006). Importantes recursos económicos, que ahondan los problemas económicos ya mencionados, son gastados en el control de estas plantas acuáticas, predominantemente a través de la aplicación de herbicidas directamente a las aguas superficiales (Greenfield *et al.*, 2007; Gopalakrishnan *et al.*, 2011) que no necesariamente permanecen estáticos. Por citar un ejemplo, el costo anual de la gestión de *E. crassipes* en el estado de la Florida en Estados Unidos asciende a \$ 5 millones (Gopalakrishnan *et al.*, 2011). Lo mencionado muestra que la invasividad de esta macrofito no solo acarrea problemas, ecológicos, ambientales y econó-

micos, sino que, estos se pueden extender a una dimensión social provocando reducción de: fuente de alimentos, trabajo, y por ende calidad de vida.

Las infestaciones de *E. crassipes* pueden incrementar su velocidad de propagación, ayudadas por las corrientes de agua, y por la falta de conciencia pública, ya que las invasiones son frecuentemente causadas por su comercialización en acuarios, por venta en viveros y por las actividades náuticas recreativas (Toft *et al.*, 2003; Greenfield *et al.*, 2007).

Así, *E. crassipes*, ocupa el puesto número ocho entre las diez malezas más invasivas del mundo (Artega Carrera *et al.*, 2010) y es considerada la maleza acuática que acarrea mayores problemas ambientales (Gopalakrishnan *et al.*, 2011).

2. Métodos de control

Los ecosistemas modificados por zonas urbanas o por el desarrollo rural pueden sufrir cambios permanentes en sus condiciones abióticas, afectando negativamente a las especies nativas (Khanna *et al.*, 2012). Por ejemplo, el incremento de nutrientes en aguas ha hecho que ecosistemas alterados sean susceptibles a invasiones, es así que, al eliminar la ventaja competitiva de los bajos nutrientes a los que las especies nativas se encontraban adaptadas, la elevada concentración de nutrientes es aprovechada por especies oportunistas, en particular, *E. crassipes* se beneficia de esta condición (Khanna, 2010). La modificación de ecosistemas, en casos tan sencillos como un jardín o tan complejos como una represa multifuncional, son ambientes propicios para la colonización de esta especie y su consecuente propagación.

Al igual que otras especies invasoras, *E. crassipes*, una vez bien instalada en el ecosistema degradado, promueven la estabilidad, en función de sus necesidades. La eutrofización permite que esta especie expanda su área de cobertura, mientras que su creciente sombra reduce la proliferación de otras plantas acuáticas, puesto que frecuentemente la disponibilidad de luz es uno de los factores limitantes para el crecimiento de plantas macrófitas (Fleming y Dibble, 2015). La descomposición de material vegetal por debajo de la colchoneta flotante crea condiciones de bajo D.O. que favorecen procesos anaerobios, al igual que la movilización de fósforo y otros nutrientes en los sedimentos, fomentando la carga de nutrientes lo que dificulta el restablecimiento de

las plantas acuáticas. Estas plantas pueden reducir la velocidad del agua en un 40 % lo que disminuye la resuspensión de sedimentos y la modificación en la concentración de micro-elementos en el agua. Esto, a su vez ralentiza el reciclaje de nutrientes, impulsando así la supervivencia y persistencia de esta especie (Khanna *et al.*, 2012; Toft *et al.*, 2003) y la muerte de especies sensibles a estos cambios.

Es indispensable establecer métodos eficaces de control, en ese sentido, el método primario de control para *E. crassipes* ha sido la aplicación de herbicidas. Durante décadas se han controlado sustancialmente las infestaciones de la especie invasora mediante su aplicación, sin dejar de lado los problemas que conlleva este tipo de tratamiento. Estos programas de control preventivo se basan en productos químicos para mantener las poblaciones de malezas en niveles aceptables y así evitar la migración de éstas. Sin embargo, cuando el control no se requiere urgentemente o no es viable económicamente debido a varios factores, entre ellos la ubicación de la maleza y los fuertes costos ambientales; lo recomendable es una combinación de agentes de control (Den Breeÿen y Charudattan, 2009; Greenfield *et al.*, 2007). Las alternativas de remoción de *E. crassipes* permiten seleccionar entre métodos físicos, mecánicos y químicos, o combinaciones entre ellos, mismos que presentan efectos prolongados, no obstante son costosos (Gopalakrishnan *et al.*, 2011) y algunos acarrear problemas para el ambiente y sus ecosistemas.

Es importante considerar que, en el Oeste de Estados Unidos los permisos y los requisitos de control exigidos para la aplicación de herbicidas acuáticos han provocado la búsqueda de controles alternativos, adicionalmente, la opinión pública suele ser favorable a procedimientos de control no químicos, de tal forma que la recolección de plantas mecánica es una alternativa utilizada frecuentemente; sin embargo, la cosecha es relativamente costosa y lleva mucho tiempo. En respuesta a esto, el estudio diseñado por Greenfield *et al.* (2007), propone la trituración de brotes de *Eichhornia crassipes*, y dejarlos en el agua para envejecer y morir, de tal forma que este método tiene menor costo que cosechar. Tanto la trituración mecánica como la aplicación del herbicida químico pueden provocar la transferencia de nutrientes a la columna de agua, el agotamiento del oxígeno, y los efectos asociados a la calidad del agua (Fleming y Dibble, 2015). De hecho, puesto que *E. crassipes* es una especie flotante que absorbe e inmo-

viliza nutrientes, su trituración perturba la calidad del agua. Las consecuencias específicas de esta acción varían en función del sitio de trituración y la estación. Las operaciones de trituración podrían causar entre 0,1 % y 9,6 % del aumento de la abundancia global de carbono, nitrógeno, y fósforo, como lo indican los estudios realizados por Greenfield *et al.* (2007).

Asimismo, dado que *E. crassipes* bioconcentra y secuestra mercurio en sus tejidos (Chigbo *et al.*, 1982), la trituración de esta macrófita causaría la liberación del metal junto con diversos nutrientes que estarían biodisponibles en la columna de agua de ríos y lagunas.

Por otro lado, se han empleado métodos de control biológico para tratar las invasiones de *E. crassipes*. El impacto de los gorgojos (*Neochetina* spp) sobre *E. crassipes* ha sido exitoso y sostenible en todo el mundo. Se han realizado ensayos a diferentes escalas. En África se efectúan tratamientos a grandes extensiones, con buenos resultados (Gopalakrishnan *et al.*, 2011; Greenfield *et al.*, 2007). La carpa herbívora o carpa forrajera (*Ctenopharyngodon idella*) también se ha utilizado como un método de control biológico contra plantas acuáticas sumergidas, ya que pueden consumir hasta 18 % - 40 % de su propio peso en un día. Sin embargo, su uso contra plantas flotantes como *E. crassipes* ha recibido poca atención. (Vera Herrera *et al.*, 1980; Gopalakrishnan *et al.*, 2011). En ocasiones se ha usado picudo (*Neochetina* spp.) como método de control biológico, pero tampoco es una práctica extendida para su control (Gopalakrishnan *et al.*, 2011; Mironga, 2006).

El estudio realizado por Gopalakrishnan *et al.* (2011), en India, recomienda el uso combinado de carpa herbívora y gorgojo, puesto que en sus ensayos se logró controlar la maleza. La biomasa de *E. crassipes* se redujo de 5 kg en el día 1 del tratamiento, a 0,33 kg en el día 110, por lo que recomiendan este tratamiento combinado siendo más eficiente y sostenible para la remoción de *E. crassipes* que el uso de estos organismos de forma individual.

3. Ventajas de su invasividad

Como se ha expuesto, la evidencia muestra que el *E. crassipes* es una especie que causa varios problemas a los ecosistemas, sobre todo a los que han sufrido modificaciones. Sin embargo, la utilización de esta

planta como fitorremediador actualmente está siendo estudiada por varios grupos a nivel mundial (Salamanca *et al.*, 2015). Trabajos experimentales muestran que *E. crassipes* puede ser utilizado en la remoción de organofosforados, en un caso particular el clorpirifos (insecticida) fue removido con gran facilidad (Anudechakul *et al.*, 2015), probando que esta especie invasora puede ser utilizada en beneficio de los ambientes contaminados.

En el caso de técnicas particulares, como la construcción de humedales artificiales, es evidente que *E. crassipes* puede ser de gran interés debido sus características (Salamanca *et al.*, 2015), en varios estudios se indica que esta macrófita se puede desarrollar en humedales y ríos con grandes concentraciones de metales pesados, entre ellos cadmio, cromo y zinc (Salamanca *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2015; Vitória *et al.*, 2015). Cabe recalcar que únicamente se recomienda el uso de *E. crassipes* en ecosistemas artificiales, debido a su gran capacidad invasiva es un peligro contraproducente utilizarla en sistemas naturales. La evidencia muestra una gran versatilidad de *E. crassipes* en aplicaciones relacionadas con la biotecnología ambiental.

Sin embargo, el aumento de la actividad industrial y agrícola ha acelerado la contaminación del medio ambiente y la consecuente modificación de los ecosistemas. En un intento de mitigar este impacto se mira hacia la fitorremediación, como herramienta para la limpieza efectiva de los sitios contaminados con metales como cinc, cromo, cobre, cadmio, plomo, mercurio y níquel; además de colorantes sintéticos, hidrocarburos, plaguicidas y solventes clorados (Agami y Reddy, 1990; Paris *et al.*, 2000).

Citando las características principales que deben tener las macrófitas que pueden ser usadas para un proceso de fitorremediación se cuentan: tener una rápida tasa de crecimiento, alta productividad, de preferencia ser especies locales, ser de fácil manejo, entre otras (Poveda y Velasteguí, 2013). Mientras, que como se ha mencionado, las características relevantes de *E. crassipes* son: i) alta densidad de las plantas y su rápido desarrollo en una gran variedad de ambientes acuáticos (Hidalgo *et al.*, 2005; Salamanca *et al.*, 2015); ii) remoción de metales pesados (As, Cd, Hg, Pb) a través de la raíces y la subsecuente acumulación en las estructuras de la planta (Chigbo *et al.*, 1982; Vitória *et al.*, 2015; Hidalgo *et al.*, 2005; Schnack *et al.*, 2000); iii) capacidad para sobrevivir en ambientes acuáticos saturados de fósforo,

nitrógeno, pesticidas y varios contaminantes de origen industrial, principalmente de la industria textil, colorantes y metalúrgica (Anudechakul *et al.*, 2015; Hidalgo *et al.*, 2005)

La utilización de macrófitas, y por extensión *E. crassipes*, para la remoción de contaminantes de aguas tiene la ventaja de requerir menores recursos económicos y tecnológicos por lo cual podrían ser empleadas inclusive en países en vías de desarrollo, algunos estudios apuntan a una utilidad de *E. crassipes* como un agente biorremediante, bajo condiciones particulares (Maine *et al.*, 1999; Paris *et al.*, 2000). Es necesario realizar mayores estudios con el fin de llevar su utilización a gran escala en procesos de biorremediación, de una manera responsable y causando la menor alteración posible en los ecosistemas. .

4. Conclusiones y recomendaciones

La invasividad de *Eichhornia crassipes* pone en peligro diversos ecosistemas aprovechando aguas ricas en nutrientes, las densas colonias flotadoras causan que el contenido de oxígeno (D.O.) descienda hasta cero debajo de su manto afectando enormemente la cadena trófica. Sin embargo la aplicación de controladores biológicos resulta exitosa y tienen gran aceptación a nivel público como es el uso de gorgojos (*Neochetina* spp.) y carpa forrajera (*Ctenopharyngodon idella*).

Las diferentes características de *Eichhornia crassipes* posibilitan su uso en fitorremediación, puesto que, puede depurar y acumular metales pesados. Sin embargo, debido a los efectos adversos que ocasiona en ecosistemas naturales, se recomienda su uso únicamente en humedales artificiales, de manera que se pueda controlar su reproducción y evitar la invasión en los ecosistemas.

Lo expuesto muestra sin lugar a dudas que la planta presenta un fuerte potencial en recuperación de sistemas acuáticos contaminados por fuentes de tipo antropogénico. No obstante, aún se requiere profundizar la investigación de tipo preindustrial para delimitar los parámetros de trabajo, diseño del proceso y sobre todo los métodos de disposición final de la biomasa en los procesos de fitorremediación.

Referencias

- Agami, M. y K. Reddy. 1990. **Competition for space between *Eichhornia crassipes* (mart.) solms and *Pistia stratiotes* l. cultured in nutrient-enriched water.** Aquatic Botany, 38: 195–208.
- Anudechakul, C., A. Vangnai y N. Ariyakanon. 2015. **Removal of chlorpyrifos by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the role of a plant-associated bacterium.** International Journal of Phytoremediation, 17(7): 678–685.
- Arteaga Carrera, J., W. Cuéllar, D. Ramírez, S. Ríos y S. Giraldo. 2010. **Manejo de plantas acuáticas invasoras en embalses de epm. caso: buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) en el embalse porce ii, antioquia-colombia.** Revista EMP, 3: 22–35.
- Barrett, S. y I. Forno. 1982. **Style morph distribution in new world populations of *Eichhornia crassipes* (mart.) solms-laubach (water hyacinth).** Aquatic Botany, 13: 299–306.
- Chigbo, F., R. Smith y F. Shore. 1982. **Uptake of arsenic, cadmium, lead and mercury from polluted waters by the water hyacinth *Eichhornia crassipes*.** Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological, 27(1): 31–36, doi:http://doi.org/10.1016/0143-1471(82)90060-5.
- Den Breejën, A. y R. Charudattan. 2009. **Biological control of invasive weeds in forests and natural areas by using microbial agents.** En: **Management of Invasive Weeds**, capítulo 10, Inderjit, USA.
- Epstein, P. 1998. **Weeds bring disease to the east african waterways.** Lancet, 351(9102): 577.
- Fleming, J. y E. Dibble. 2015. **Ecological mechanisms of invasion success in aquatic macrophytes.** Hydrobiologia, 746: 23–37.
- Gopalakrishnan, A., M. Rajkumar, J. Sun, A. Parida y B. Venmathi. 2011. **Integrated biological control of water hyacinths, *Eichhornia crassipes* by a novel combination of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (valenciennes, 1844), and the weevil, *Neochetina* spp.** Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 29(1): 162–166.
- Greco, M. y J. Freitas. 2002. **On two methods to estimate production of *Eichhornia crassipes* in the**

- eutrophic pampulha reservoir (mg, brazil).** Brazilian Journal of Biology, 62(3): 463–471.
- Greenfield, B., S. Geoffrey, J. Andrews, M. Rajan, S. Andrews y S. D.F. 2007. **Mechanical shredding of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): Effects on water quality in the sacramento-san joaquin river delta, california.** Estuaries and Coasts, 30(4): 627–640.
- Hidalgo, J., J. Montano y M. Sandoval. 2005. **Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas.** Theoria, 14(1): 17–25, URL <http://www.ubiobio.cl/theoria/v/v14/a2.pdf>.
- Khanna, S. 2010. **Development and use of remote sensing tools to study the impact of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) invasion in an estuarine ecosystem.** Tesis Doctoral, University of California, Davis.
- Khanna, S., M. Santos, E. Hestir y S. Ustin. 2012. **Plant community dynamics relative to the changing distribution of a highly invasive species, *Eichhornia crassipes*: a remote sensing perspective.** Biological Invasions, 14(3): 717–733.
- Labrada, R., J. Caseley y C. Parker (editores). 1996. **Manejo de malezas para países en desarrollo.** Estudios FAO Producción y Protección Vegetal, FAO, Roma, pp. 137.
- Li, X., Y. Zhou, Y. Yang, S. Yang, X. Sun y Y. Yang. 2015. **Physiological and proteomics analyses reveal the mechanism of *Eichhornia crassipes* tolerance to high-concentration cadmium stress compared with *Pistia stratiotes*.** PLoS ONE, 10(4): e0124304, doi:10.1371/journal.pone.0124304.
- Lung'Ayia, H. B. O., A. M'Harzi, M. Tackx, J. Gichuki y J. J. Symoens. 2000. **Phytoplankton community structure and environment in the kenyan waters of lake victoria.** Freshwater Biology, 43(4): 529–543.
- Maine, M. A., N. Suñe y M. Duarte. 1999. **Eliminación de cadmio y cromo desde aguas utilizando macrófitos.** Información Tecnológica, 10(6): 11–18.
- Milne, J. M., K. J. Murphy y S. M. Thomaz. 2006. **Morphological variation in *Eichhornia azurea* (kunth) and *Eichhornia crassipes* (mart.) solms in relation to aquatic vegetation type and the environment in the floodplain of the rio paraná, brazil.** En: Caffrey, J., A. Dutarte, J. Haurry, K. Murphy y P. Wade (editores), **Macrophytes in Aquatic Ecosystems: From Biology to Management**, tomo 190 de **Developments in Hydrobiology**, pp. 19–25, Springer Netherlands, URL http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5390-0_3.
- Mironga, J. M. 2006. **The effect of water hyacinth, *Eichhornia Crassipes*, infestation on phytoplankton productivity in lake naivasha and the status of control.** En: Odada, E. O., D. O. Olago, W. Ochola, M. Ntiba, S. Wandiga, N. Gichuki y H. Oyieke (editores), **Proceedings of the 11th World Lakes Conference**, tomo 2, pp. 573–579, Ministry of Water and Irrigation, International Lake Environment Committee, Nairobi, Kenya.
- Paris, C., H. Hadad y M. Maine. 2000. **Selección de macrófitas para la absorción de plomo.** En: **Actas IV Encuentro Nacional de Jóvenes Investigadores**, pp. 45–46, U. N. L., Santa Fe, Argentina.
- Poveda, R. y R. Velasteguí. 2013. **Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón ambato, provincia de tungurahua.** Carrera ingeniería bioquímica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, URL <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/8455>.
- Salamanca, E., A. Rengifo-Gallego, C. Madera-Parra, D. Ríos y C. Avila-Williams. 2015. **Phytoremediation using terrestrial plants.** En: Ansari, A., S. Gill, R. Gill, G. Lanza y L. Newman (editores), **Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants**, tomo 2, capítulo 25, pp. 305–319, Springer International Publishing, Switzerland, 1 edición, doi:<http://doi.org/10.1007/978-3-319-10969-5>.
- Schnack, J. A., F. O. DeFrancesco, U. R. Colado, M. L. Novoa y E. J. Schnack. 2000. **Humedales antrópicos: Su contribución para la conservación de la biodiversidad en los dominios subtropical y pampásico de la argentina.** Ecología Austral, 10(1): 63–80.
- Seema, P. 2012. **Threats, management and envisaged utilizations of aquatic weed *Eichhornia***

- crassipes*: an overview. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 11: 249–259.
- Toft, J., C. Simenstad y J. Cordell. 2003. **The effects of introduced water hyacinth on habitat structure, invertebrate assemblages, and fish diets.** Estuaries, 26: 746–758.
- Vera Herrera, F. R., J. Medina Gandara, A. Flores Román y J. Rojas Galaviz. 1980. **Control biológico del lirio acuático *Eichhornia crassipes* mediante la carpa herbívora *Ctenopharyngodon idella* (pisces: *Cyprinidae*) en estanques controlados.** Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 7(2): 259–274.
- Vitória, A. P., J. L. da Silva Santos, M. S. M. Barros Salomão, T. de Oliveira Vieira, M. Da Cunha, S. F. Pireda y G. Rodrigues Rabelo. 2015. **Influence of ecologic type, seasonality, and origin of macrophyte in metal accumulation, anatomy and ecophysiology of *Eichhornia crassipes* and *Eichhornia azurea*.** Aquatic Botany, 125: 9–16.