

**DETERMINACION DEL POTENCIAL DE ABSORCION DE COBRE EN SOLUCION ACUOSA DE LAS ESPECIES***Pistia stratiotes* Y *Eichhornia crassipes*Yazmin Barreto<sup>1</sup>, José Paredes<sup>2</sup>

Recepción: 19 de diciembre de 2016

Aceptado: 01 de marzo de 2017

**Resumen**

La presente investigación, se realizó con la finalidad de evaluar y comparar la capacidad potencial de dos especies acuáticas para absorción de cobre en solución acuosa. Con el resultado, su aplicación en la fitorremediación de aguas contaminadas con este metal, sería más eficaz y eficiente, principalmente en efluentes mineros, dada la trayectoria minera de nuestro país en la extracción de cobre. Las especies utilizadas fueron *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, en cubas de vidrio con soluciones de cobre, en concentraciones crecientes de 10,30, 60 y 90 mg/L. Se evaluaron, los cambios físicos en las especies vegetales, la tasa de crecimiento relativo mediante la ecuación de Hunt y la cuantificación de cobre absorbido, por espectrofotometría de absorción atómica, bajo un sistema tipo batch por un período de 20 días. Finalmente se obtuvo que la tasa de crecimiento relativo se vio afectada después de la concentración de 10 mg/L de cobre, en ambas especies, así mismo se determinó alta capacidad de absorción de cobre las dos especies, siendo 98.87 % y 98.34% para *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* respectivamente.

**Palabras clave:** cobre, absorción, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*.

**Abstract**

The present investigation was carried out with the purpose of evaluating and comparing the potential capacity of two aquatic species for the absorption of copper in aqueous solution. With the result its application in the phytoremediation of contaminated water with this metal, would be more effective and efficient, mainly to miners effluents, given the mining trajectory of our country in the extraction of copper. The species used were *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes*, in glass vats with copper solutions, in increasing concentrations of 10, 30, 60 and 90 mg / L. The physical changes in plant species, the relative growth rate using the Hunt equation and the quantification of absorbed copper by atomic absorption spectrophotometry were evaluated, considering a batch system mode for a period of 20 days. Finally, it was obtained that the relative growth rate was affected after the concentration of 10 mg / L of copper, in both species, as well as the high copper absorption capacity of the two species, being 98.87% and 98.34% for *Pistia Stratiotes* and *Eichhornia crassipes* respectively.

**Key words:** cooper, absorption, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*

<sup>1</sup> Ingeniera Ambiental de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

<sup>2</sup> Maestro en Ciencias en Agroecología, mención Gestión Ambiental, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva Docente de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

## Introducción

La contaminación del agua por vertimiento de efluentes, producto del desarrollo de actividades mineras, especialmente a pequeña escala, en la cual existe un control deficiente en la calidad de este recurso, por parte de las autoridades competentes, siendo la elevada concentración de metales pesados en el agua un impacto de gran preocupación.

El Perú es el mayor productor de oro, zinc, plomo y estaño en el mercado latinoamericano y además el segundo productor de plata y cobre en el mundo.

El cobre está presente en el ambiente de manera natural, formando parte de rocas como las ígneas, metamórficas y sedimentarias. En términos de cobre total, se estimó que 40 a 67% de la entrada total anual al medio ambiente es de desgaste natural; sin embargo las actividades industriales como la minería, el refinamiento de petróleo, el trabajo de metales y fundición generan una elevada concentración de cobre en el medio ambiente acuático (1). La ingestión de cantidades muy altas de cobre por seres humanos, pueden dañar el hígado y los riñones e incluso causar la muerte (2).

Las partículas de cobre disueltas que se liberan al ambiente, se depositan en el suelo donde es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales, posteriormente por escorrentía o por la acción de solubilidad de partículas aéreas con las precipitaciones, llegan hasta los ambientes acuáticos y se bioacumulan en los seres vivos, siendo los humanos los últimos receptores de este metal (3).

La fitorremediación de ambientes acuáticos contaminados, es una tecnología sostenible que utiliza plantas para reducir la concentración de contaminantes orgánicos de suelos, sedimentos, agua y aire, mediante mecanismos bioquímicos realizados por las plantas en asociación con los microorganismos que habitan en las raíces de éstas, resultando así una variedad de reacciones de oxidación y reducción que reducen la concentración de contaminantes.

Los vegetales utilizados en los sistemas de fitorremediación acuática se clasifican en tres grupos: emergentes, flotantes y sumergidas. Entre los vegetales flotantes existen aquellos de libre flotación (no fijas): sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Sus estructuras vegetativas y reproductivas se mantienen emergentes. Ejemplos: lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lenteja de agua (*Lemna spp.* y *Salvinia minima*) (4).

Las especies acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Pistia Stratiotes* han sido estudiadas respecto a su

remoción en diversos contaminantes entre estos los metales pesados, (5) en su investigación mencionan tasas de crecimiento relativo negativas para el caso de la especie *Eichhornia crassipes*, después de estar en contacto con plomo durante 6 días; para una concentración de 0.5 mg/L., y para remoción de cadmio a concentraciones de 1.5 mg/L y 5 mg/L, tasas de crecimiento relativo negativas para la especie *Pistia stratiotes*, ya que dichas concentraciones afectó el crecimiento de la planta, pero sin causar la muerte del vegetal para un tiempo de exposición de 15 días.

La necesidad y la capacidad de tolerancia de las distintas especies vegetales es variada, ocasionando que por cada especie se pueda establecer un rango de valores sobre los cuales comienzan a darse signos de toxicidad y la posibilidad que estos varíen con el desarrollo de la planta, su nutrición, las características de su entorno, etc. Los síntomas causados por el exceso de metales en las plantas son muchas veces comunes a los diversos metales. Los síntomas más comunes son una reducción del crecimiento y amarillamiento de las hojas (6).

Según el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, referente a la concentración de cobre en efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas, registra que las concentraciones de cobre límite en cualquier momento es 0,5 mg/L y el límite para el promedio anual es 0,4 mg/L.

La eficiencia en porcentaje de remoción de los contaminantes As, Fe, Cu, Cr, Cd y Zn en sistemas con *Eichhornia crassipes* alcanzan valores de: 80, 78.6-90.1, 86-95, 60-69, 40-65, 48-65 respectivamente, mientras que el porcentaje de remoción de contaminantes Fe, Mn, Pb, Cu, Cr, Cd y Zn con *Pistia stratiotes* los valores son: 78.3-95, 86.8-98.4, 90-99.7, 68-97.3, 64-99.6, 63-87, 82-92, respectivamente (7). En la presente investigación se evalúa y compara la capacidad potencial para absorción de cobre en solución acuosa de estas dos especies acuáticas.

## Materiales y métodos

### Aclimatación de especies

Las especies vegetales fueron aclimatadas en los exteriores del Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por 7 días. Ésta fase se consideró absolutamente necesaria pues permitió determinar si el vegetal puede adaptarse a las condiciones reinantes en el laboratorio.

El agua que se utilizó en la aclimatación consistió de una mezcla del agua donde se recolectó cada especie con agua tratada (1:4) y se utilizó una solución de 150 ppm de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

### Evaluación de los efectos de la absorción de cobre en solución acuosa

Se colocaron las especies aclimatadas de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en cubas de vidrio de 14.45 L, se prepararon volúmenes de 10L de soluciones de cobre a 10, 30, 60 y 90 mg de  $\text{Cu}^{2+}/\text{L}$ , utilizando sulfato de cobre. Posteriormente se realizó una evaluación en sistema tipo batch, procediendo a la observación sistemática de los cambios físicos de las especies vegetales para poder determinar la afectación de dichos vegetales como consecuencia de la presencia de cobre a diferentes concentraciones, los cuales fueron registrados cada 5 días teniendo en cuenta el periodo de duración del experimento de 20 días.

### Estimación de la tasa de crecimiento relativo

Se procedió a retirar cuidadosamente las especies acuáticas dispuestas en las cubas de cada tratamiento, siendo un total de 4 plantas por tratamiento; luego se escurrió el agua durante unos segundos y se las colocó en toallas absorbentes. Se pesaron todos los vegetales de cada tratamiento al inicio del experimento y luego cada 5 días por un periodo de 20 días.

La evaluación de la tasa de crecimiento relativo se llevó a cabo mediante la ecuación de Hunt (8).

### Determinación de las concentraciones de cobre remanente en las soluciones.

Se realizó un procedimiento experimental para hallar la concentración de cobre mediante el método de absorción atómica (9), en la metodología se utilizó el cobre complejado por el amonio pirrolidido ditiocarbomato se extrajo a pH 3,5 por la metilisobutilcetona y después se determinó por espectrometría de absorción atómica directamente de la solución obtenida; en el que se aplicó los siguientes procedimientos:

Se introdujo en un vaso de precipitado 400 ml de agua acidificada en el momento de la toma y se ajustó el pH de la muestra a  $3,5 \pm 0,1$  con solución tampón cloruro amónico de pH 9. Se vertió el contenido en un embudo de decantación, lavando el vaso con 25 ml de agua y juntando las aguas del lavado. Se añadió 50 ml de solución APDC. Se agitó durante 5 minutos con un agitador. Se añadió 50 ml de metilisobutilcetona. Se agitó de nuevo otros 10 minutos. Se dejó decantar durante 12 horas en la oscuridad y preferentemente a baja temperatura. Se recogió la fase orgánica. Se centrifugó para eliminar las trazas de agua. Se nebulizó la solución de metilisobutilcetona intercalando fracciones puras de este reactivo

después de cada muestra. Utilizándose una llama de aire-acetileno. Se efectuó las lecturas a la longitud de onda de 324,7 nm. Los resultados se expresaron en microgramos de cobre por litro

### Determinación del factor de bioconcentración

Para la determinación del factor de bioconcentración se aplicó la metodología de (10).

Finalmente se realizó la determinación del porcentaje de remoción de cobre, teniendo como referencia la concentración inicial y la concentración final.

## Resultados

La especie *Pistia stratiotes* en los tratamientos aplicados, inició con una buena pigmentación y sin presentar anomalías en sus hojas y raíces. A la concentración de 10 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$ , el crecimiento de las plantas fue lento, con escasa producción de hojas nuevas y un leve proceso de clorosis en las hojas; a 30 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  existe inhibición del crecimiento de la especie, no hubo producción de hojas nuevas, se produjo un adelgazamiento de las hojas y se asentó más el proceso de clorosis; a las concentraciones de 60 y 90 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  hubo disminución del crecimiento de la especie (hojas y raíces), no se presentó producción de hojas nuevas, hojas notoriamente delgadas, las raíces estuvieron atrofiadas y hojas cloróticas de color amarillento, con los bordes con evidente estrés oxidativo; sólo a 90 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  las unidades experimentales presentaron un severo estado de necrosis.

Para el caso de la especie *Eichhornia crassipes*; después de aplicarle los tratamientos a diferentes concentraciones de cobre se obtuvo que, a la concentración de 10 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  el crecimiento de la planta es lento, con escasa producción de hojas nuevas y un proceso de clorosis en las hojas; a 30 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  hay inhibición del crecimiento de la especie, no se aprecia producción de hojas nuevas, hojas delgadas y amarillamiento de las hojas por el proceso de clorosis; a 60 ppm 90 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  las plantas presentaron disminución del crecimiento, no hay producción de hojas nuevas, hojas notoriamente delgadas, peciolo de color oscuro y arrugados, presentaban raíces atrofiadas y hojas cloróticas de color amarillento y bordes oxidados. A la concentración de 90 ppm  $\text{Cu}^{2+}$  de existe pudrición en la especie vegetal, se observan hojas aparentemente quemadas desde su ápice, no existe estabilidad en el tallo ocasionando que éste se incline y los peciolo se muestran blandos.

Cuadro 1. Concentración final promedio de cobre en el agua para cada uno de los tratamientos de la Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

Tratamiento	Concentración inicial (Cu <sup>2+</sup> ) ppm	Concentración final promedio (Cu <sup>2+</sup> ) mg/L			
		R1	R2	R3	Promedio
C1	10	0.083	0.137	0.119	0.113
C2	30	0.817	0.793	0.721	0.777
C3	60	7.157	9.230	11.894	9.427
C4	90	17.986	17.710	19.861	18.519

Cuadro 2. Concentración final promedio de cobre en el agua para cada uno de los tratamientos del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Tratamiento	Concentración inicial (Cu <sup>2+</sup> ) ppm	Concentración final promedio (Cu <sup>2+</sup> ) mg/L			
		R1	R2	R3	Promedio
C1	10	0.136	0.188	0.173	0.166
C2	30	1.638	0.987	0.980	1.202
C3	60	14.052	12.056	10.678	12.262
C4	90	21.415	20.528	21.215	21.053

## Discusión

### Evaluación de los efectos de la absorción de cobre en solución acuosa

En la investigación se observó que los tratamientos testigo de Jacinto de agua y Lechuga de agua se desarrollaron de manera favorable, con aumento en el peso de la planta, así como producción de hojas nuevas y gruesas de color verde. Por tanto, se puede deducir que son especies de fácil adaptación y rápido crecimiento, el Jacinto de agua se reproduce principalmente por estolones que forman nuevas plántulas, además por semillas pudiendo doblar su número en dos semanas de acuerdo al medio (11), de la misma manera la Lechuga de agua, es una planta acuática de rápido crecimiento y de flotación libre (12).

Las especies estudiadas (*Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*) presentan diferentes respuestas de afectación por la presencia de los metales, para el caso específico cobre; presentando una relación en forma directa entre el incremento de concentración de cobre y el grado de afectación, referente a la respuesta de las plantas, cuando entran en contacto con ambientes alterados en su composición y concentración de elementos, estas han desarrollado una serie de respuestas para tolerar y por tanto sobrevivir hasta un cierto umbral de concentración de metal (13).

Al término del período de evaluación, se observó que ambas especies a las concentraciones más bajas de Cu<sup>2+</sup> empiezan principalmente a detener su crecimiento mientras que, a mayores concentraciones, presentan signos de resequeamiento y degradación, esto se debería a la absorción de cobre. En las plantas, los efectos de los metales empiezan en la raíz, ya que este es el órgano responsable de asimilar los nutrientes del medio, y afectan sucesivamente el resto de la planta y ocurre

finalmente el estímulo de la senescencia por acumulación crónica del metal pesado, lo que puede resultar la muerte de la planta (14). Los síntomas más comunes de las plantas ante la afectación de metales pesados son: una reducción del crecimiento y amarillamiento de las hojas (15).

### Estimación de la tasa de crecimiento relativo

Las tasas de crecimiento relativo para las especies estudiadas fueron positivas para el tratamiento con concentración de 10 mg/L Cu<sup>2+</sup>. En estudios realizados sobre absorción de mercurio con la especie *Eichhornia crassipes* se reportaron resultados de una tasa de crecimiento relativo positiva (tendencia creciente) con concentraciones de 0,1 mg/L y 1 mg/L de mercurio, observándose durante el experimento una adaptación y recuperación rápida en su crecimiento, continuando su normal desarrollo, obteniéndose valores de ganancia en la biomasa del vegetal, demostrándose así una buena adaptación por parte del vegetal a las condiciones de experimentación (16).

A concentraciones de 30 mg/l, 60 mg/L y 90 mg/L de Cu<sup>2+</sup>, se obtuvo una disminución en la tasa de crecimiento relativo para ambas especies, con mayor evidencia a la concentración mayor en ambas especies. Una investigación sobre tasas de crecimiento relativo, negativas fue reportada para el caso de la especie *Eichhornia crassipes*, después de estar en contacto con plomo durante 6 días; para una concentración de 0.5 mg/L; y en el estudio de remoción de cadmio a concentraciones de 1.5 mg/L y 5 mg/L, se obtuvo tasas de crecimiento relativo negativas para la especie *Pistia stratiotes*, ya que dichas concentraciones afectaron el crecimiento de la planta, sin causar la muerte del vegetal para un tiempo de exposición de 15 días (17).

### Determinación de las concentraciones de cobre remanente en las soluciones

Tanto la especie *Pistia stratiotes* como *Eichhornia crassipes*, presentaron gran potencial para la absorción de cobre, sin embargo, el cobre remanente en la solución usando la especie *Pistia stratiotes*, es menor. Con este resultado se demostró que esta especie posee mayor capacidad de absorción de cobre, aparentemente debido a su gran desarrollo radicular. Se han realizado estudios vinculados a la absorción y efectos tóxicos de distintas concentraciones de metales pesados tales como Cr, Cd y Cu, donde algunos autores han reportado que la raíz constituye el tejido de entrada principal de metales pesados en la planta (18).

El tamaño y el área superficial de las raíces juegan un papel importante en la fitorremediación. La zona de absorción del elemento químico por la planta, influye en su distribución interna. Así como algunos metales se transportan fácilmente dentro de la planta, otros metales, son poco móviles y su acumulación se produce mayormente en las raíces (19).

Esta investigación nos permite confirmar y sugerir el uso ambas especies en tratamientos de fitorremediación, con una pequeña ventaja de absorción de *Pistia stratiotes* dada la gran reducción en la concentración de cobre divalente en el agua, en todos los tratamientos. La fitorremediación permite reducir nutrientes, fertilizantes, metales, arsénico, selenio, boro, pesticidas orgánicos y herbicidas (20). Con los valores de los factores de bioconcentración determinados podemos decir que son especies hiperacumuladoras. Las plantas que presentan valores de factor de bioconcentración menores de uno, no son adecuadas para la fitoextracción (21).

Los porcentajes de remoción de cobre obtenidos, para la especie *Pistia stratiotes* fueron de 79.42 - 98.87 % y para la *Eichhornia crassipes* de 76.61 - 98.34 %. Se reportaron valores similares en remoción de cobre, con la especie *Pistia stratiotes* con un rango de 68 - 97.3% de remoción de cobre, sin embargo, el Jacinto de agua, es la macrófita de mayor interés en ejercicios investigativos a escala real y a escala laboratorio (22).

Cuadro 3. Porcentaje de remoción de cobre en el agua para cada uno de los tratamientos de la Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

Tratamiento	Periodo	Concentración final promedio (Cu <sup>+2</sup> ) mg/L	Remoción de Cu <sup>+2</sup> (%)
1	Inicio	10	98.87
	Final	0.113	
2	Inicio	30	97.41
	Final	0.777	
3	Inicio	60	84.29
	Final	9.427	
4	Inicio	90	79.42
	Final	18.519	

Cuadro 4. Porcentaje de remoción de cobre en el agua para cada uno de los tratamientos del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Tratamiento	Periodo	Concentración final promedio (Cu <sup>+2</sup> ) mg/L	Remoción de Cu <sup>+2</sup> (%)
1	Inicio	10	98.34
	Final	0.166	
2	Inicio	30	95.99
	Final	1.202	
3	Inicio	60	79.56
	Final	12.262	
4	Inicio	90	76.61
	Final	21.053	

### Resultados

1. A mayor concentración de cobre en el medio, la afectación de la planta (*Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*) es más visible y a menor concentración de cobre, la planta es más tolerable al medio.
2. Los vegetales *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* presentan una tasa de crecimiento relativo de forma inversamente proporcional a las concentraciones crecientes de cobre.
3. El factor de bioconcentración de cobre para las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en sus diferentes tratamientos supera a 1,

demostrando que ambas especies de plantas acuáticas son hiperacumuladoras de cobre.

4. Los vegetales *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* presentan un alto potencial para la absorción de iones cobre de soluciones acuosas con una eficiencia máxima de la *Pistia stratiotes* para remover el cobre en el agua de 98.87%, para la *Eichhornia crassipes* de 98.34% (a concentraciones de 10 ppm de cobre).

#### Referencias bibliográficas

1. Volesky B. Bioabsorción de metales pesados. Editorial CRC Press. Florida. 1990; 190 p.
2. Sierralta H. El cobre: Salud, Medio Ambiente y Nuevas Tecnologías. Editorial Codelco. 2005; 48 p.
3. Water treatment solutions Lenntech. El cobre y sus efectos. [Internet]. 1998. [citando el 15 de febrero de 2015] disponible desde: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm#Nombre>.
4. Nuñez R, Meas Y, Ortega R, Olguín E. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. 2004 Julio; 72-71.
5. Paris C, Hadad H, Maine A, Suñe N. Eficiencia de dos macrófitas flotantes libres en la absorción de metales pesados. Argentina; Santa Fé: Universidad Nacional del Litoral; 2007. (3)02: pp 15-12.
6. Torres G, Navarro A, Languasco J, Campos K, Cuizano N. Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Perú: Lima, 2007; 3(1):20-13.
7. Martelo J, Lara J. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; 2012; 8(15):243-221.
8. Hunt R. Plant growth analysis. Studies in biology N° 96. Edward Arnold Ltd. Londres; 1978. p. 16-12.
9. Rodier J. Análisis de aguas. Trad. por Santiago Balague. Barcelona, España: Omega. 1981. 1059 p.
10. Olguín EJ, Sánchez-Galván G, Pérez-Pérez T, Pérez-Orozco A. Surface adsorption, intracelular accumulation and compartmentalization of Pb (II) in batch operated lagoons with *Salvinia minima* as affected by environmental conditions, EDTA and nutrients. *J Ind Microbiol Biotechno*; 2005. 32:586-577.
11. García Z. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Perú (Lima): Universidad Nacional de Ingeniería. 2012; 82 p.
12. Van der Hammen T. Aspectos de historia y ecología de la biodiversidad Norandina y amazónica. Revista académica colombiana. Colombia; 2000. p. 245-231.
13. Torres G, Navarro A, Languasco J, Campos K, Cuizano N. Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Lima, Perú; 2007. 3 (1):20-13.
14. Muñoz M. Remoción de metales pesados en aguas residuales utilizando una macrófita acuática. España; 1991. 16 p.
15. Torres G, Navarro A, Languasco J, Campos K, Cuizano N. Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratiotes* (Lechuga de agua). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Perú: Lima, 2007; 3(1):20-13.
16. Arenas A, Meru L, Torres G. Evaluación de la planta *Eichhornia crassipes* como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Venezuela: Estado Lara. 2011; 2(3):9-7.
17. Paris C, Hadad H, Maine A, Suñe N. Eficiencia de dos macrófitas flotantes libres en la absorción de metales pesados. Universidad Nacional del Litoral. Argentina: Santa Fé. 2007; 3(2):15-12.
18. Reyna F, Córdoba P, Mendiola J, Ortega C, Sánchez H, Herrera J. Utilización de la *Eichhornia crassipes* en la alimentación de tilapia. Archivo Zootecnia. 2009; N° 59. p. 155-133.
19. Boruvka L, Kozárk J, Kristoufková S. Heavy metal accumulation in plants grown in heavily polluted soils. Folia Microbiol. 1997; 42(5):526-524.
20. Vázquez M, Barceló D, Poschenrieder C, Madico J, Hatton O, Baker A, Cope G. Fisiología de las plantas. Londres: Editorial Acriba S.A .1992. 168 p.
21. Fitz WJ, Wenzel WW. Arsenic transformation in the soil rhizosphere plant system, fundamentals and potential application of phytoremediation. 2002. [citando el 16 de agosto de 2015] disponible desde: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165602002183>.
22. Martelo J, Lara J. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales. 2012; 8(15):243-221.