



ABSORCIÓN DE HIERRO TOTAL EN PLANTAS ACUÁTICAS COMO FITORREMEIADORA EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Matute, Saida ⁽¹⁾, Capote, Tarcisio ⁽¹⁾, Montilla, María Norelys ⁽²⁾, Padrón, Dulcinea ⁽³⁾ e Iglesias, Patricia ⁽⁴⁾

(1) Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado-Decanato de Agronomía. Departamento de Química y Suelos.

smatute@ucla.edu.ve ; tcapote@ucla.edu.ve

(2) Universidad Politécnica Territorial Andrés Eloy Blanco. norelysmontilla@gmail.com

(3) Universidad Experimental de Los Llanos Ezequiel Zamora. finda61@hotmail.com

(4) Universidad Central de Venezuela- Núcleo de Barquisimeto. patiglechi@gmail.com

ASA/EX. 2014-6

Recibido: 12-04-2014

Aceptado: 27-06-2014

RESUMEN

En este estudio se evaluó la absorción de hierro total en plantas acuáticas de las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* como fitorremediadoras en agua residual industrial producto del galvanizado en la empresa Galvanizados Barquisimeto C.A., Estado Lara-Venezuela. El ensayo consistió en un experimento completamente al azar con dos tratamientos T1= agua desecho + *Eichhornia crassipes* y T2= agua desecho + *Lemna minor*. Antes de colocar las plantas se midió el hierro total en el agua de desecho y en las plantas acuáticas, luego se colocaron las plantas y se realizaron muestreo del agua cada 5 días durante 30 días, después se midió la concentración de este metal en las dos especies de plantas acuáticas una vez culminado los tratamientos. Los resultados indican que las aguas residuales industriales contienen 1500,89 µg/mL de hierro total antes de los tratamientos, después de los tratamientos la concentración fue de 29,39 µg/ml que equivale a un 98,04 % de remoción que produjo la *Eichhornia crassipes*; y 38,08 µg/ml que corresponde a un 97,47 % de remoción por parte de la *Lemna minor*. Esta absorción se muestra en las hojas y raíces de la *Eichhornia crassipes* (41.459,10 mg/kg y 261.848,34 mg/kg de hierro total) y la *Lemna minor* 8.460 mg/kg de hierro total. Ambas plantas representan una alternativa para la remoción de hierro en aguas residuales industriales que inicialmente posean hasta un nivel de concentración de 1500,89 µg/mL.

Palabras clave: Contaminación, hierro total, fitorremediación, *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.



ABSORPTION OF TOTAL IRON IN AQUATIC PLANTS LIKE PHYTOREMEDIATION IN INDUSTRIAL WASTE WATER

Matute, Saida ⁽¹⁾, Capote, Tarcisio ⁽¹⁾, Montilla, María Norelys ⁽²⁾, Padrón, Dulcinea ⁽³⁾ e Iglesias, Patricia ⁽⁴⁾

- (1) UCLA- Dean of Agronomy. Department of Chemistry and Soils. smatute@ucla.edu.ve ; tcapote@ucla.edu.ve
(2) Territorial Polytechnic University Andrés Eloy Blanco. norelysmontilla@gmail.com
(3) Experimental University of Los Llanos Ezequiel Zamora. finda61@hotmail.com
(4) Central University of Venezuela- Barquisimeto. patiglechi@gmail.com

ABSTRACT

In this study there was evaluated the absorption of total iron in water plants of the species *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* as phytoremediation in residual industrial water product of galvanized in the company Galvanized Barquisimeto C.A., State Lara-Venezuela. The test consisted of an experiment completely at random, with two treatments T1 = water I reject + *Eichhornia crassipes* and T2 = water I reject + *Lemna minor*. Before placing the plants the total iron measured up in the water and in the water plants species, then the plants were placed and sampling of the water was realized every 5 days for 30 days, later there measured up the concentration of this metal in both water plants once reached the treatments. The results indicate that the industrial waste water contains 1500,89 µg/ml of total iron before the treatments, after the treatments the concentration was of 29,39 µg/ml that is equivalent to 98,04 % of removal that produced the *Eichhornia crassipes*; and 38,08 µg/ml that corresponds to 97,47 % of removal on the part of the *Lemna minor*. This absorption appears in the leaves and roots of the *Eichhornia crassipes* (41459,10 mg/kg and 261848,34 mg/kg of total iron) and the *Lemna minor* 8460 mg/kg of total iron. Both plants it represents an alternative for the removal of iron in residual industrial water up to a level of concentration of 1500, 89 µg/ml.

Key words: Pollution, total iron, phytoremediation, *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor*.



INTRODUCCIÓN

En la Zona Industrial II de Barquisimeto, Estado Lara (Venezuela) se encuentra establecida la empresa Galvanizados Barquisimeto C.A. que se dedica al galvanizado en caliente para la protección de toda clase de piezas, artículos de hierro y acero de diversos sectores como el petrolero, eléctrico, construcción, alimentos, entre otros, mediante la inmersión de los mismos en zinc fundido.

Los recubrimientos obtenidos proporcionan una protección eficaz y duradera a las piezas para su fabricación y uso (Rodríguez, 2003).

La industria de galvanizado, es una empresa de servicios que ofrece la mayor variedad de usos y aplicaciones en el sector construcción por ser una protección económica y versátil del acero. Es frecuente encontrar productos fabricados con acero galvanizado como por ejemplo una arandela, alambres, mallas expandidas, perfiles, ductos, tableros, cajetines, láminas para techos, hasta torres de alta tensión y diversas piezas estructurales, por lo que los recubrimientos obtenidos proporcionan

una protección eficaz y duradera para su uso. (Rodríguez, 2003).

Sin menoscabo de la importancia de las empresas de galvanizado en la actividad industrial, el proceso de recubrimiento es una fuente de generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. La presencia de metales pesados en la cubeta de las aguas del decapado forma parte del trabajo cotidiano en las empresas de este campo.

En la actualidad, en el ámbito nacional y a través de una visita realizada por los autores a la empresa Galvanizados de Barquisimeto C.A. una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas de desecho de este tipo de empresa, ha sido la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo, lo que puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importantes en países tropicales por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las aguas residuales crudas; y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida



de valor económico del recurso y del ambiente y que a la vez genera una disminución del bienestar para la comunidad ubicada aguas abajo de las descargas.

Es por ello, que la Norma para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Gaceta Oficial de Venezuela N° 5021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995, y en el cual se establece, el control de los vertidos líquidos, en el Capítulo III Sección III de las Descargas a Cuerpos de Agua, en el Artículo 15, a los fines de éste decreto se establecen los parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales en donde la cantidad permisible de hierro es veinticinco miligramos por cada litro (25 mg/L).

De lo antes expuesto, este estudio utiliza las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* para depurar o tratar aguas residuales que han sido contaminadas con hierro. La utilización de plantas acuáticas ha sido desarrollada como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales, y ha demostrado ser eficiente en la

remoción de una amplia gama de sustancias orgánicas así como nutrientes y metales pesados (Novotny y Olem, 1994).

La depuración de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes es uno de sistemas más utilizados, y consiste en estanques o canales de profundidad que fluctúan entre los 0,4 a 1,5 m. Estos estanques son alimentados con agua residual, en los que se desarrolla una especie flotante. Algunas de las especies que se pueden utilizar son: Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*), Lenteja de agua (*Lemna minor*) y Azolla (*Anabeana azollae*) (Metcalf y Eddy, 1995). El Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) es una de las especies acuáticas más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación, especialmente en regiones tropicales y subtropicales.

Es por esto que este estudio determina la absorción de hierro total en plantas acuáticas como fitorremediadora en aguas residuales industriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La especie *Eichhornia crassipes* fue recolectada en la laguna situada dentro del Parque Cementerio



Metropolitano de Barquisimeto-Venezuela, la especie *Lemna minor* fue recolectada en la laguna de estabilización de la Fundación DANAC ubicada en San Rafael, estado Yaracuy-Venezuela.

El ensayo se instaló en un cobertizo ubicado en la Estación Experimental "Miguel Luna Lugo" del Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" en el sector Tarabana, Municipio Palavecino, Estado Lara, Venezuela. El área donde se encuentra este núcleo está caracterizada, según Holdridge et al. (1971), como un bosque muy seco tropical, tiene una altura de 510 m.s.n.m., la precipitación promedio anual es de 658,3 mm, la evaporación promedio tiene el valor de 2048,1 mm anuales, la temperatura promedio anual presenta un valor de 25,1°C, la insolación diaria promedio es de 7,9 horas y la humedad relativa media es de aproximadamente 70%. La latitud es de 10°1'25''N y la longitud 69°17'W.

Las plantas fueron aclimatadas en el cobertizo techado de la estación experimental "Miguel Luna Lugo" hasta el momento de la realización del experimento. Esta fase se consideró

absolutamente necesaria pues permitió determinar si la planta puede adaptarse a las condiciones reinantes en el cobertizo. Las plantas fueron distribuidas en cuatro recipientes plásticos (dos para *Lemna minor* y dos para la *Eichhornia crassipes*) de 8 L con un área de lámina de agua de 19 cm² en porciones de 500 g de plantas *Eichhornia crassipes* y 500 g de *Lemna minor*.

El agua utilizada en la aclimatación consistió de una mezcla de agua de la laguna recolectada en el Parque Cementerio Metropolitano con agua destilada (1:4). El proceso tuvo una duración de siete días.

Por otro lado, la recolección del agua residual industrial se realizó en las tanquillas de lavado de la Empresa Galvanizadora Barquisimeto, ubicada en la Zona Industrial II de la ciudad de Barquisimeto-Venezuela.

Diseño Experimental

El diseño del experimento se corresponde con un diseño estadístico completamente al azar y estuvo conformado por 2 grupos experimentales con 6 repeticiones cada uno, un grupo experimental GE1 (agua residual industrial+*Eichhornia crassipes*), un



grupo experimental GE2 (agua residual industrial+ *Lemna minor*). En la Tabla 1 se observa la asignación de los grupos a los diferentes tratamientos.

Tabla 1. Tratamiento de fitorremediación utilizado en los ensayos

Tratamiento	Descripción de los Tratamientos
T1	Agua residual industrial + <i>Eichhornia crassipes</i>
T2	Agua residual industrial + <i>Lemna minor</i>

Montaje de los Ensayos

Una vez aclimatadas las plantas fueron extraídas, pesadas en grupos de 50 g de pesos frescos y distribuidas al azar en los recipientes plásticos (estos envases tienen las siguientes dimensiones: diámetro interno inferior de 20,0 cm; diámetro interno superior 32,0 cm; longitud de la pared 10,5 cm; diámetro de la lámina de espejo de agua 19,0 cm². Altura de la marca de 3 L; profundidad efectiva 6,0 cm), para la realización de los dos ensayo.

El tratamiento T1 estuvo representado por 6 recipientes plásticos de 8,0 L cada uno, a los cuales se les agregó 3 L de agua residual industrial y

50 gramos de *Eichhornia crassipes* por cada recipiente; y el T2 conformado por 6 recipientes plásticos de 8,0 L cada uno, los cuales contenían 3 L de aguas residuales industriales y 50 g de *Lemna minor* por cada recipiente.

El nivel de agua se mantuvo constante mediante la reposición interdiaria del agua perdida por evapotranspiración. Para ello se marcó un aforo de 3 L que se completaba con agua destilada. Todas las muestras de agua fueron tomadas después de asegurar el aforo mencionado.

Es importante resaltar que antes de iniciar los tratamientos se cuantificó de forma directa por absorción atómica la concentración de hierro total en el agua residual industrial.

Una vez que las plantas estuvieron ubicadas en sus respectivos recipientes plásticos con agua residual industrial, se cuantificó el hierro total de forma directa por absorción atómica cada cinco días, hasta completar los treinta días para ambos tratamientos. Se cuantificaron los porcentajes de remoción de hierro total en el agua en función del tiempo (0 días-30 días); y por último, se determinaron las concentraciones de hierro total en hojas y



raíces de la planta acuática *Eichhornia crassipes* y en las hojas de *Lemna minor* una vez culminado el ensayo.

Las hojas frescas fueron lavadas con abundante agua destilada y detergente neutro, luego fueron enjuagadas con agua destilada para remover todo el detergente y posteriormente se colocaron en papel absorbente. Las muestras se secaron en la estufa de circulación forzada a 65 °C, dispuestas en bolsas de papel perforado. Las muestras secas fueron molidas con un molino de acero inoxidable y se pasaron luego por un colador de malla de 1 mm, se acondicionaron en frascos de vidrio con tapa plástica y se identificaron. Se realizó la digestión húmeda de las mismas por duplicado con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno, mediante la metodología descrita en Malavolta et al. (1997). Para ello se pesó 1 g de material vegetal seco y se transfirió a un vaso de precipitado. Se adicionaron 5 mL de HNO₃ concentrado al 95 % y se dejó en reposo por 15 minutos. Se colocó en una plancha de calentamiento fría y se elevó la temperatura gradualmente hasta 80 °C aproximadamente. Después de la aparición de vapores oscuros se retiró el vaso, se dejó enfriar y se adicionaron 5

mL de HNO₃ al 95 %. Se calentó nuevamente hasta obtener un extracto incoloro. Se retiró de la plancha y se adicionaron 5 gotas de H₂O₂. Se filtró y transfirió cuantitativamente al balón de 50 mL y se aforó y luego se midieron por absorción atómica.

Las determinaciones de hierro total en las hojas como en las raíces de las plantas se midieron al inicio y al final de los tratamientos para constatar que las mismas absorben hierro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de hierro total en agua de desecho producto del galvanizado.

En el Tabla 2 se muestra la concentración de hierro total del agua residual industrial producto del galvanizado antes de los tratamientos.

Tabla 2. Concentración inicial de hierro total en agua residual industrial producto del galvanizado.

Agua residual industrial	[Fe total] Antes del Tratamiento (µg/mL)
Promedio	1500,89 ± 1,06

El agua residual industrial producto del galvanizado posee una elevada concentración de hierro de 1500,89 µg/mL valor considerado muy elevado en



comparación con lo establecido por las Normas venezolana Decreto N° 883, Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (1995), la concentración de este metal es de 25 mg/L; lo que significa que el valor del hierro total en esta agua está fuera de Normas.

Es preocupante este tipo de agua con alto contenido de hierro, porque la misma pueden llegar a los cuerpos de agua; tal es el caso que se presenta en el Valle del río Turbio, al que se descargan a través de las aguas residuales diferentes tipos de contaminantes productos de la actividad industrial como doméstica. Según Canelón (2004), señala que los agricultores de la ribera del río Turbio, para minimizar los problemas de escasez durante la época de sequía, irrigan las áreas agrícolas con este tipo de agua, las cuales por composición química del suelo se producen sales de hierro, y cuando se acumulan en cantidad suficiente, resultan tóxicas para los cultivos ocasionando desequilibrios en la absorción de los nutrientes (Olguin, 2002).

Concentración de hierro total presente en las plantas acuáticas antes del

tratamiento

Es necesario determinar inicialmente el hierro total en las dos especies de las plantas acuáticas, como línea base del estudio, de forma de poder verificar si las mismas absorben dicho elemento presente en el agua residual industrial (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de hierro presente en las plantas acuáticas de las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* antes del tratamiento.

Muestras	[Fe total] (µg/g)
Hojas de <i>Eichhornia crassipes</i>	140,94 ± 0,99
Raíces de <i>Eichhornia crassipes</i>	2784,24 ± 0,65
Hojas <i>Lemna minor</i>	94,11 ± 0,95

En la Tabla 3 se muestran los valores iniciales de concentración de hierro total en las hojas y raíces de *Eichhornia crassipes*, evidenciándose una mayor concentración de este elemento en las raíces (2.784,24 µg/g), por lo que Rodríguez (1997) señala que la concentración de hierro en este tipo de planta oscilan entre 1.500 a 2.800 µg/g.

En cambio la *Lemna minor* presenta



menor concentración de hierro reportando un valor de 94,11 $\mu\text{g/g}$ de este metal, por lo que Rodríguez y Palma (2000) indican que la concentración de hierro en esta planta oscila entre 26 a 100 $\mu\text{g/g}$.

En concordancia con lo anterior, el hierro es un microelemento esencial en las plantas, pues forma parte de citocromos, proteínas y participa en reacciones de oxido-reducción. En las hojas, casi todo el hierro se encuentra en los cloroplastos, donde juega un papel importante en la síntesis de proteínas cloroplásticas. También forma parte de una gran cantidad de enzimas respiratorias, como la peroxidasa, catalasa, ferredoxina y citocromo-oxidasa. (Smith y Gianinnazzi-Parson, 1988).

La Figura 1 muestra la concentración de hierro total en agua residual industrial producto del galvanizado en función del tiempo y con las plantas acuáticas.

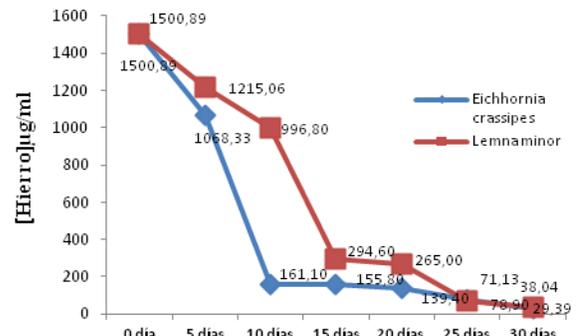


Figura 1. Concentración de hierro en el agua residual industrial en función del tiempo y con las plantas acuáticas.

La Figura 1 indica que a medida que transcurre el tiempo con la permanencia de las plantas acuáticas de las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en el agua residual industrial producto del galvanizado, la concentración del hierro total disminuye.

En los primeros 20 días de permanencia de la planta acuática de la especie *Eichhornia crassipes* en esta agua, la concentración del hierro total es menor que el agua que contiene la especie *Lemna minor*. Sin embargo, en los 10 días restantes de los tratamientos; es decir, los 25 a los 30 días de permanencia de estas dos especies de plantas acuáticas en el agua residual industrial producto del galvanizado, la concentración de hierro se mantuvo igual.

Según lo antes expuesto, Wang et al. (1996), exponen que la acumulación de



metales por las plantas acuáticas se presenta en un proceso que consiste en dos pasos: un primer paso de absorción rápida o vinculación a la superficie biológica (biosorción), seguido por un segundo paso de transporte lento e irreversible, controlado por difusión al interior de la célula (bioacumulación), que puede ser por difusión del ión metálico a través de la membrana celular o por transporte activo por una proteína transportadora.

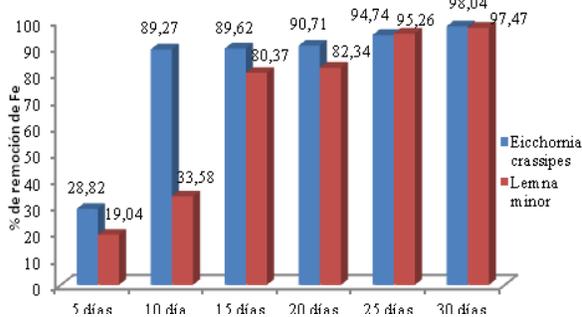


Figura 2. Porcentajes de remoción de hierro total en el agua residual industrial producto del galvanizado en función del tiempo y con la permanencia de las plantas acuáticas.

La Figura 2 muestra que a medida que transcurre el tiempo de contacto de las plantas acuáticas en el agua residual industrial, el porcentaje de remoción del hierro total se incrementa.

Se observa que a los 5 días de permanencia de la *Eicchornia crassipes*

en dicha agua, se remueve 28,82%. Ya para los 30 días se removió de este elemento el 98,04%.

Igual ocurre con el agua residual industrial que contiene la *Lemna minor* a los 5 días se removió el 19,04% del hierro total y a los 30 días el 97,47 %.

En concordancia con lo anterior, es importante resaltar que el agua residual industrial a los 25 y 30 días y con la permanencia de ambas plantas, las mismas removieron igual cantidad de hierro total; es decir no existe diferencia significativa ($p = 0,834 < 0,05$; $p = 1,352 < 0,05$) en la remoción de este elemento en dicha agua al utilizar ambas plantas.

Sin embargo, esta investigación muestra que la *Eicchornia crassipes* remueve un 98,04% y la *Lemna minor* un 97,47% de hierro total, valor muy por encima que el reportado por Martelo y Borrero (2012) quien indica una remoción de un 90,10% para la *Eicchornia crassipes* y un 78,48% para la *Lemna minor* en agua residual con alto contenido de hierro.

Con los resultados obtenidos en los dos tratamientos para probar la viabilidad de *Eicchornia crassipes* y *Lemna minor* como especies útiles en la



fitorremediación del hierro total, fue posible constatar que absorbe este metal casi en su totalidad, las cuales las hace tolerantes a este metal hasta los treinta días que duró el ensayo.

Sin embargo, la *Eicchornia crassipes* remueve en menor tiempo el hierro en dicha agua residual industrial en comparación a la *Lemna minor*, debido a que el proceso de absorción fue mas rápido favoreciendo la vinculación a la superficie biológica (biosorción), por lo que la descontaminación del efluente fue mas eficiente y rápido.

Por otro lado, se muestran los valores de absorción de hierro total en hojas y tallos de las dos plantas. (Tabla 4).

Tabla 4. Concentraciones de hierro total en hojas y raíces de las plantas acuáticas

Muestras	[Fe total] (mg/kg)	
	Antes del Tratamiento	Después del Tratamiento
Hojas de <i>Eicchornia crassipes</i>	140,94 ± 0,99	41459,10 ± 0,99
Raíces de <i>Eicchornia crassipes</i>	2784,24 ± 0,65	259064,10 ± 1,05
Hojas de <i>Lemna minor</i>	94,11 ± 0,95	8460,09 ± 1,12

La Tabla 4 muestra que existe diferencia significativa en cuanto a la concentración de hierro total en la *Eicchornia crassipes*, notándose que la mayor cantidad de este elemento se presenta en la raíz en comparación con las hojas.

Algunos autores han reportado que la raíz constituye el tejido de entrada principal de metales pesados en la planta. En tal sentido Reyna *et al.* (2009) señalan que el hierro total, se almacena en mayor proporción en la raíz, alcanzando concentraciones superiores a los 40.000 mg/kg (base seca) en esta zona.

En concordancia con lo anterior, la *Eicchornia crassipes* y *Lemna minor* absorben y bioacumulan el hierro total, es decir, los mg de hierro en las hojas por /kg de biomasa es de 41459; y mg de hierro en las raíces por /kg de biomasa es de 259064,10 y los mg de hierro por /kg de biomasa es de 8460,09 para la *Lemna minor*.

Esto quiere decir, que el alto contenido de hierro total encontrado en ambas plantas acuáticas se debe a la gran cantidad de este elemento en dicha agua; es decir, el agua residual industrial antes de colocar las plantas acuáticas contiene



4.502.670 mg de hierro total; por lo que se concluye que ambas especies acuáticas absorben y acumulan este metal.

CONCLUSIONES

Las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* fueron capaces de tolerar y sobrevivir en ambientes contaminados con hierro (1,5 g/L). La eficiencia máxima de la *Eichhornia crassipes* para remover el hierro total en el agua residual fue de 98,04%; y para la *Lemna minor* un 97,47 %; por lo que puede afirmarse que ambas plantas pueden utilizarse para la descontaminación de aguas contaminada con hierro.

La eficiencia máxima de la *Eichhornia crassipes* para remover el hierro total en el agua fue de 98,04%; y para la *Lemna minor* un 97,47 %; por lo que puede afirmarse que ambas plantas pueden utilizarse para la descontaminación de aguas contaminada con hierro.

La concentración final de hierro en la *Eichhornia crassipes* se ubicó en las hojas en 41.459,10 mg por cada kilogramo de peso seco y 259.064,10 mg por cada kilogramo de peso seco del

material vegetal. Para la *Lemna minor* se ubicó en 8.460,09 de peso seco del material vegetal.

Las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* puede utilizarse como una herramienta efectiva, sencilla y económica en los procesos de descontaminación del agua con alto contenido de hierro.

REFERENCIAS

- Canelón, J. (2004). *Gestión del agua en el Valle de Quibor, un análisis psicosocial de una forma tradicional del manejo de un bien común*. Tesis Doctoral para obtener el título de Doctor en Psicología Social. Pontificia Universidad Católica de São Paulo- Brasil.
- De Marte, J.; y Hartman, R (1974). *Studies on absorption of P, Fe and Ca by Water-Milfol*. Exology. V 55. 188-194 pp.
- Holdridge, L.R.; Grenke, W.; Hatheway; W.H.; Liang, T.; Tosi, J.A. (1971); *Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study*. Pergamon Press, Oxford.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2a ed., Piracicaba: POTAFOS, 319 pp.
- Martelo, J.; y Borrero, L (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales*. Ingeniería y Ciencia. Vol 8. N°15. 221-243
- Metcalf, F. y Eddy, I. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y*



- reutilización. McGraw Hill/interamericana de España S.A.1485 pp.
- Normas para la Clasificación y el control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos y Efluentes Líquidos (Decreto 883). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, Edición Extraordinaria N° 5245*, Septiembre 18, 1995.
- Novotny, V.; y Olem, H. (1994) Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinhold, New York. 1054 pp.
- Olguin, L. (2002). *Aprovechamiento de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. Tecnología ambiental para el desarrollo sustentable. Instituto de Ecología de México.
- Reyna, F.; Cordoba, P.; Mendiola, J.; Ortega, C.; Sanchez, H.; y Herrera, J (2009). *Utilización de la Eicchornia crassipes en la alimentación de tilapia*. Archivo Zootecnia. N° 59. 133-155 pp.
- Rodríguez, J. (2003). *Evaluación de la capacidad de absorción de plomo por la planta acuática Lemna minor, en agua contaminada con el elemento*. Trabajo de Grado no publicado, Universidad Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Barquisimeto.
- Rodríguez, J.; y Palma, J. (2000). *Valor nutritivo de la lenteja de agua (Lemna minor) y su posible uso en la alimentación animal*. Zootecnia Tropical. V 18. N° 1. 210-222 pp.
- Rodríguez, J. (1997). *Valor nutritivo de la Eicchornia Icrassipes en relación a su utilización como forraje*. Zootecnia Tropical. V 15. N° 1. 51-61 pp.
- Smith, S.E. y V. Gianinnazzi-Parson. (1988). *Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants*. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. N° 39:201-244 pp.
- Vázquez, L (2003). *Chemistry and mineralogy of Fe-containing oxides and layer silicates in relation to plant available iron*. *Journal of Plant Nutrition*. 11: (6-11). 1557-157 pp.
- Wang, T.C.; Weissman, J.C.; Ramesh, G.; Benemann, J.R. (1996); *Parameters for removal of toxic heavy metals by water milfoil (Myriophyllum spicatum)*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology: V.57. 779-786 pp.