

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**Extracción de metales pesados de aguas residuales de tratadora “Samsara Ecosystems” con lirios acuáticos**

**POR:**

**HERÓN RUÍZ RAMÍREZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**SEPTIEMBRE DE 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
ÚNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**"Extracción de metales pesados de aguas residuales de tratadora "Samsara  
Ecosystems" con lirios acuáticos"**

TESIS DE LA C. HERÓN RUIZ RAMÍREZ, QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

ASESOR PRINCIPAL: Héctor Madinaveitia Ríos  
Dr. Héctor Madinaveitia Ríos

ASESOR: José Luis Reyes Carrillo  
Dr. José Luis Reyes Carrillo

ASESOR: Alfredo Ogaz  
Dr. Alfredo Ogaz

ASESOR: Norma Lydia Rangel Carrillo  
Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo

Francisco Javier Sánchez Ramos  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
  
Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

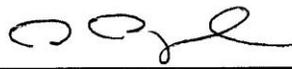
"Extracción de metales pesados de aguas residuales de tratadora "Samsara  
Ecosystems" con lirios acuáticos"

TESIS DE LA C. HERÓN RUIZ RAMÍREZ, QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

PRESIDENTE: 

Dr. Héctor Madinaveitia Ríos

VOCAL: 

Dr. José Luis Reyes Carrillo

VOCAL: 

Dr. Alfredo Ogaz

VOCAL: 

M.C. Miguel Ángel Urbina Martínez

DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 2011

## **AGRADECIMIENTOS.**

**A Dios:** Porque me ha dado el grandioso regalo de crecer como persona, de permitirme lograr todos mis sueños y alcanzar todas mis metas personales.

**A mi Alma Terra Mater:** Por darme la carrera que quería.

**Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos,** por haberme apoyado con sus conocimientos y consejos para terminar la tesis.

**Al Dr. Alfredo Ogaz,** que en su papel de maestro me apoyó con la interpretación de los análisis estadísticos de mi trabajo.

**A Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo,** por haberme apoyado incondicionalmente en la realización de los análisis de laboratorio.

**Al Dr. José Luis Reyes Carrillo,** por explicarme de forma detenida la forma de citar cada uno de los autores que conforman este trabajo de experimentación.

**A María Isabel Blanco Cervantes,** por haberme apoyado incondicionalmente en la realización de tesis.

**A todo el Departamento de Biología:** Por compartir este proyecto conmigo y darme todas las facilidades para realizarlo.

**Al M.C Miguel Ángel Urbina Martínez:** Por su apoyo incondicional en este proyecto.

## **DEDICATORIAS.**

**A mis padres:** Heron Ruiz Velasco y Nelly Ramírez Saldaña, Por apoyarme siempre en todo lo que realizó, por esforzarse y sacrificarse tanto para que yo realizara mis estudios, por estar siempre conmigo.

**A mis hermanos:** María Guadalupe, Juan José, Beatriz, Nelly y gloria Ruiz Ramírez por a verme apoyado incondicionalmente en todas mis decisiones y animarme cuando más lo necesitaba.

**A mis cuñados:** Eroida Tamayo, Manuel López, y en especial a Antonio Octavio Zea Penagos **(RIP)**. Que gracias a su ejemplo y apoyo soy la persona que soy y he llegado hasta donde ahora me encuentro.

**A la familia Segura Coronado:** que desde el día que los conocí me han apoyado incondicionalmente y con sus consejos me han ayudado hacer una mejor persona

**A mis amigos:** Neftalí, Hiram, luis, Memo, Lulú, y en especial a Kenia porque sin sus apoyos no podría haber terminado la carrera.

# INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>IV</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>4</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
<b>EL LIRIO ACUÁTICO (<i>EICHORNIA CRASSIPES</i> (MART.) SOLMS )</b> .....	<b>5</b>
CARACTERIZACIÓN .....	6
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA QUE FAVORECE EL CRECIMIENTO.. .....	7
PROCEDENCIA Y DISTRIBUCIÓN .....	8
USO .....	8
AGUA RESIDUAL .....	11
POTENCIAL DE HIDRÓGENO .....	12
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	12
CATIONES Y ANIONES SOLUBLES .....	13
<i>Cationes solubles</i> .....	13
<i>Aniones</i> .....	14
CLASIFICACIÓN DEL AGUA .....	15
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL .....	16
FITORREMEDIACIÓN .....	16
<i>Ventajas:</i> .....	17
<i>Limitaciones:</i> .....	17
EFICIENCIA DE JACINTO DE AGUA ( <i>EICHORNIA CRASSIPES</i> ) EN LA LIMPIEZA DEL AGUA .....	19
<i>EICHORNIA CRASSIPES</i> ALTERNATIVA SUSTENTABLE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA CON METALES .....	21
<i>Fitoextracción:</i> .....	21
<i>Rizofiltración</i> .....	21
<i>Fitoestabilización:</i> .....	21
METALES PESADOS .....	24
PROBLEMAS CON EL JACINTO DE AGUA .....	27
<i>Eutrofización</i> .....	27
MÉTODOS DE CONTROL DEL LIRIO COMO PLAGA .....	30
EXTRACCIÓN FÍSICA, DRENAJE .....	30
CONTROL BIOLÓGICO .....	30
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	32
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	32
ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN PLANTAS .....	33
PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS .....	34
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>35</b>

CUADRO 1.....	35
CONTENIDO DE PLOMO (Pb) EN LIRIO ACUÁTICO COLECTADO EN LA PLANTA TRATADORA SAMSARAECOSYSTEMS, TORREÓN COAHUILA. FEBRERO DE 2011.....	35
CUADRO 2.....	36
CONTENIDO DE ZINC (Zn) EN LIRIO ACUÁTICO COLECTADO EN LA PLANTA TRATADORA SAMSARA ECOSYSTEMS, TORREÓN COAHUILA. FEBRERO DE 2011.....	36
CUADRO 3.....	37
CONTENIDO DE ARSÉNICO (As) EN LIRIO ACUÁTICO COLECTADO EN LA PLANTA TRATADORA SAMSARA ECOSYSTEMS, TORREÓN COAHUILA. FEBRERO DE 2011.....	37
CUADRO 4.....	39
CONTENIDOS TOTALES DE ARSÉNICO (As), PLOMO (Pb) Y ZINC (Zn) EN LIRIO ACUÁTICO COLECTADO EN LA PLANTA TRATADORA SAMSARAECOSYSTEMS, TORREÓN COAHUILA. FEBRERO DE 2011. ....	39
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CITADA .....</b>	<b>42</b>

## RESUMEN

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población. El objetivo de presente trabajo fue evaluar la capacidad del lirio acuático en la extracción de metales pesados en agua residual. El presente trabajo se realizó en la UAAAN UL en Torreón, Coahuila México. Los lirios fueron recolectados en la planta tratadora de agua Samsara Ecosystems S.A de C.V, de la ciudad de Torreón Coahuila México. La determinación de los metales pesados en tejido vegetal se realizó en el laboratorio de suelos. En base a las condiciones en que se realizó el presente trabajo y resultados obtenidos. Contenidos totales de arsénico (As) tuvo como máximo  $65 \text{ mg kg}^{-1}$  y como mínimo  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  encontrando la mayor concentración de arsénico en los tallos y hojas y la mínima en las raíces por la parte del plomo las concentraciones fueron como máximo  $107 \text{ mg kg}^{-1}$  y como mínimo  $95 \text{ mg kg}^{-1}$  encontrando la mayor concentración en las raíces y las mínimas en las hojas y por ultimo en zn la mayor concentración fue de 80.5 y la mínima de 39.5 encontrando en las hojas la mayor cantidad y el tallo la menor cantidad de metal. Podemos concluir que el lirio acuático puede ser utilizado en el tratamiento de agua residual para la eliminación de metales pesados.

**Palabras claves:** metales pesados, Tratamiento, lirio acuático, extracción, agua residual.

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos.

El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos –de hecho ocurre lo contrario- sino a que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa (Valdés, 1999).

Resultado de las diferentes actividades en que se utiliza el agua, se produce agua residual de diverso tipo, la que requiere tratamiento más complejo. Prácticamente todos los municipios en zonas industrializadas manejan una combinación de agua residual doméstica e industrial. La composición del agua residual verdaderamente doméstica ha cambiado con la entrada en el mercado de una serie de productos nuevos, accesibles a las amas de casa. Tratar el agua residual doméstica de una forma óptima requiere modificaciones del enfoque tradicional (Ramalho, 1996).

Algunos de estos residuos contienen ciertas características físicas, químicas y biológicas que afectan los ecosistemas. Sin embargo, parte de estos materiales,

contienen elementos químicos de importancia para el desarrollo vegetal, y pueden ser tratados físicamente, químicamente o biológicamente y los residuos reutilizados en otras actividades (Moreno-Reséndez *et al.*, 2008).

El uso de plantas para reducir la concentración o peligrosidad de contaminantes ha dado origen a la fitorremediación, la cual se ha consolidado y diversificado en países desarrollados. Tecnología barata, simple, sustentable, compatible con el ambiente y estéticamente mejor que la tecnología convencional. Puede implementarse in situ para remediar grandes extensiones de áreas contaminadas o para tratar grandes volúmenes de agua con baja concentración de contaminantes. Entre las estrategias de fitorremediación, se encuentran los sistemas que utilizan el jacinto de agua (o lirio acuático), que han demostrado ser eficientes para tratar agua residual doméstica e industrial. Sin embargo, debido al desconocimiento de esta tecnología, carencia de especialistas en el área y falta de presupuesto, pocas son las instituciones en México que realizan investigación en este campo (EPA, 2000; Núñez-López *et al.*, 2004).

## **OBJETIVO**

Evaluar la capacidad del lirio acuático o jacinto de agua (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) en la capacidad de extracción de metales pesados del agua residual.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **El lirio acuático (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms )**

Nombre científico o latino: (*Eichornia crassipes*). Nombre común o vulgar: jacinto de agua, lirio acuático, camalote, lampazo, violeta de agua, buchón, taruya.

Familia: *Pontederiaceae* (Pontederiáceas). Luz: sol o semisombra. Planta que requiere iluminación intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una rampa luminosa completa. La temperatura óptima para el desarrollo del lirio acuático se encuentra entre 20 y 30 °C, aunque puede sobrevivir a una temperatura de hasta 10 °C. En invierno la planta debe ser protegida en invernadero en climas con heladas, manteniéndola siempre en agua. No resiste los inviernos fríos (hay que mantenerla entre 15-18 °C en contenedores con una profundidad de al menos 20 cm y una capa delgada de turba en el fondo). Puede rebrotar en primavera si se marchita. Necesita agua estancada o con poca corriente e intensa iluminación. El pH óptimo está entre 5-7 y el máximo de tolerancia para salinidad es de 800 mg/l (Gopal y Sharma 1981; Gopal 1987; Reed *et al.*, 1995).

**Caracterización.** El lirio acuático (*Eichornia crassipes*) es una planta perenne, que puede llegar a medir hasta un metro de altura. Tiene hojas gruesas, ceras, brillantes y redondeadas de hasta 20 cm de diámetro, que se elevan arriba de la superficie del agua sobre sus pecíolos. Especie flotante de raíces sumergidas, sin tallo aparente, provisto de un rizoma, particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas de superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la cual puede mantenerse sobre la superficie acuática, hojas sumergidas lineares, y las emergidas, entre obovadas y redondeadas, provistas de pequeñas hinchazones que facilitan la flotación (Figura 1). En verano produce espigas de flores lilas y azuladas que recuerda vagamente a la del jacinto. Las raíces son muy características, negras con extremidades blancas cuando son jóvenes, negro violáceo cuando son adultas, multiplicación: mediante división de los rizomas. En verano se reproduce fácilmente por medio de estolones que produce la planta madre, llegan formarse verdaderas "islas" de gran porte. Los estolones crecen hasta 30 cm de longitud hasta desarrollar una roseta hija. La intensidad de propagación por este medio puede resultar en la duplicación del área cada 6 a 15 días. Los tallos florecedores, a partir del centro de la roseta, producen un inflorescencia vistosa de flores azules/violeta, las cuales se convierten en cápsulas frutales cada una conteniendo hasta 400 semillas pequeñas, de larga longevidad. El crecimiento está grandemente influido por los niveles de nutrientes en el agua, especialmente, los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio (Núñez-López *et al.*, 2004; Reddy *et al.*, 1989, 1990, 1991; Sculthorpe, 1971).



Fig. 1. Partes del jacinto de agua o lirio acuático (Núñez-López *et al.*, 2004; Reddy *et al.*, 1989, 1990, 1991; Sculthorpe, 1971).

**Composición química del agua que favorece el crecimiento.** El crecimiento del jacinto de agua es favorecido por agua rica en nutrientes, en especial por nitrógeno, fósforo y potasio. La habilidad del jacinto de agua para absorber nutrientes y otros elementos ha sido investigada. Además de estos elementos, toma calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, aluminio, boro, cobre, molibdeno y zinc. La habilidad del jacinto de agua de extraer nutrientes y metales pesados puede ser explotada para tratar los efluentes de alcantarillados pasándolos a través de canales que contienen la planta. En un tratamiento exitoso las plantas se tienen que mantener en crecimiento activo mediante la eliminación del exceso de plantas (Brooks y Robinson, 1998).

**Procedencia y Distribución.** Es originario de América Central; especie introducida en Europa hacia finales del siglo XIX. Se ha distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y lagunas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos. En México se distribuye prácticamente en casi todos los Estados de la República y habita en lagos, lagunas, pantanos, canales, charcos, ríos y presas (Holm *et al.*, 1977; Lot *et al.*, 1999).

**Uso.** Para adornar pequeños lagos, embalses, estanques y acuarios. Ofrece un excelente refugio para peces protegiéndolos del sol excesivo, heladas y a los alevines (cría de pez que incluye la fase comprendida entre la larva y el adulto y que en ciertos peces de agua dulce se utiliza para repoblar) del embate de los benteveos (*Pitangus sulphuratus*). La raíz constituye un excelente soporte para el desove de las especies ovíparas (pez dorado, carpas, etc.), incluso aquellos aficionados que críen a sus peces en acuario, en época de reproducción sería muy útil hacerse de algún ejemplar joven de esta planta para el acuario de cría donde desovaran sus peces. Las raíces del camalote no sólo le servirán de soporte para los huevos, si no que son un refugio para los alevines, e incluso en ellas se desarrolla una microflora que sirve como alimento inicial para los mismos (Gopal, 1987).

Con un manejo adecuado pudiera representar un recurso aprovechable como fertilizante, producción de celulosa y papel, complemento alimenticio, fuente de biogás, pero principalmente para el tratamiento de agua residual (Núñez-López *et al.*, 2004).

Una agrupación, dedicada a la elaboración de celulosa y papel, que utiliza la planta del jacinto acuático es la Papelera Celulosa Mexicana, que utiliza los licores de desecho para generar el alcohol etílico y sales amoniacales. Empresa que participó y ganó el “Premio Regional de Creatividad” de ANUIES en el año 2003 y el “Primer lugar del Certamen Nacional De Ciencia y Tecnología” en el 2005 posteriormente se instaló una pequeña empresa para la producción de celulosa y papel procesando el jacinto acuático. Actualmente, la cría intensiva de las aves de corral y el ganado de gran escala ha hecho que el tratamiento de su basura y su agua residual sea un aspecto medioambiental urgente, que motivó este estudio. Un humedal de 688 m<sup>2</sup> fue construido en una granja de pato de huevo, y el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) fue elegido como una planta acuática para el humedal y utilizado como alimento para la producción del pato. Los objetivos de este estudio eran probar el papel del jacinto de agua en la purificación de agua residual y como alimento rico y de sus efectos sobre el pato, el rendimiento de puesta de huevo y la calidad de huevo. Este estudio demuestra que el humedal construido ha eliminado como 64.44 % de la demanda de oxígeno producido por reacción química, 21.78 % del nitrógeno total y 23.02 % del fósforo total. El oxígeno disuelto y la transparencia del agua residual fueron mejorados notablemente, con su transparencia 2.5 veces más que del agua residual no tratada. Después de que los patos fueran alimentados con el jacinto de agua, el producto diario de alimentación del promedio y el cociente de la postura en el grupo de prueba eran 5.86 % y 9.79 % más altos, respectivamente, que en el grupo de control; ambas diferencias eran significativas en los 0.01 niveles de la probabilidad. El peso del huevo en el grupo de prueba era 2.36 % más altos que

en el grupo de control ( $< P; 0.05$ ), pero los cocientes de conversión de la alimentación casi eran iguales. El grueso y la fuerza de la cáscara de huevo estaban entre las cualidades de huevo crecientes perceptiblemente de los patos alimentados con el jacinto de agua. Se concluyó que un sistema del jacinto de agua era eficaz para agua residual de la purificación de una granja intensiva del pato durante la estación de crecimiento del jacinto de agua, pues el jacinto de agua cosechado tenía un funcionamiento excelente como alimentación del pato (Lu *et al.*, 2008).

Un estudio divulga la producción del biogás del jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) crecido bajo diversas concentraciones del nitrógeno y las plantas cosechados de un cuerpo del agua contaminada. Este estudio fue realizado en un período de 4 meses en las temperaturas mesofílicas usando 3 reactores que son utilizados para un digestor. La adición de estiércol fresco de vaca que tiene una concentración de nitrógeno bajo los resultados es una reducción significativa en los cocientes de concentración de nitrógeno de los substratos del jacinto de agua. Sin embargo, la producción del gas comenzó 3 días después de cargar las tarifas de producción de los reactores y del gas elevado en 4-7 días. Se concluyó que el jacinto de agua se podría utilizar para la producción del biogás sin tener en cuenta las concentraciones más altas o más bajas del nitrógeno y que no hay necesidad para que el cociente de concentración de nitrógeno esté dentro de la gama óptima de 20-32 requerido para la digestión anaerobia. Existen características bioquímicas de los substratos que influyen perceptiblemente la producción del biogás además del cociente de concentración de nitrógeno (Jayaweera *et al.*, 2007).

Las organizaciones españolas Fundación 2001 *Global Nature* y Arquitectos Sin Fronteras (ASF-España), trabajaron en los municipios de San José de Los Llanos (San Pedro de Macorís) y Chirino (Monte Plata) en el saneamiento de su agua residual construyendo cuatro filtros cuyo funcionamiento se basa en utilizar plantas acuáticas. Realizan el proceso de depuración en sus raíces, donde absorben y asimilan en sus tejidos todos los contaminantes. En San José de Los Llanos y Chirino se utilizó la lila de agua (*Eichornia crassipes*). Esta planta es capaz de eliminar entre el 63 y el 98 % de sólidos en suspensión, materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Proyecto de Saneamiento de Agua Residual Mediante Filtros Verdes en San José de Los Llanos, República Dominicana, 2006).

### **Agua residual**

Llamamos agua residual al agua de composición variada proveniente de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. El agua tiene varias propiedades debidas a la presencia de enlaces químicos débiles entre los átomos de oxígeno y los átomos de hidrógeno de moléculas adyacentes. Sus propiedades son adquiridas en su mayor parte, según sea el contenido total de sólidos en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos. (Espinoza, 1997; Mata-González, 1999; Howar, 2004).

## **Potencial de Hidrógeno**

La determinación del pH es un procedimiento analítico importante más usado en química, bioquímica y química de suelos. El pH determina muchas características de la estructura y actividad de las biomacromoléculas, por lo tanto, el comportamiento de células y organismos. En 1909, el químico danés Sorensen definió el potencial hidrógeno como el logaritmo negativo de la concentración molar (más exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno (Atkins, 2006).

## **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la capacidad de un cuerpo para permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí. También se define como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones (y huecos en el caso de los semiconductores) pueden pasar por él. La conductividad eléctrica varía con la temperatura. La conductividad en medios líquidos (disolución) está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica al someter el líquido a un campo eléctrico. Estos conductores iónicos se denominan electrolitos o conductores electrolíticos. La determinación de la conductividad recibe el nombre de determinación conductométrica (Atkins, 2006).

## **Cationes y aniones solubles**

### **Cationes solubles**

El ión calcio,  $\text{Ca}^{++}$ , forma sales de moderadamente solubles a muy insolubles y se precipita fácilmente como  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Contribuye de forma muy especial a la dureza del agua y formación de incrustaciones. El agua dulce suele contener de 10 a 250 ppm, o incluso 600 ppm. Se determina analíticamente por complexometría con EDTA. La eliminación de calcio se realiza por precipitación e intercambio iónico.

El ión magnesio,  $\text{Mg}^{++}$ , tiene propiedades similares a las del ión calcio, pero sus sales son, generalmente más solubles y difíciles de precipitar; por el contrario, su hidróxido,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , es menos soluble. El agua dulce suele contener entre 1 y 100 ppm. Sí el contenido en agua alcanza varios centenares le da un sabor amargo y propiedades laxantes, que pueden afectar su potabilidad. Contribuye a la dureza del agua y a pH alcalino puede formar incrustaciones de hidróxido. Su determinación analítica se realiza por complexometría y se puede precipitar como hidróxido pero su eliminación se realiza fundamentalmente por intercambio iónico.

El ión sodio,  $\text{Na}^+$ , corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar. Suele estar asociado al ión cloruro. El contenido en agua dulce suele estar entre 1 y 150 ppm, pero es fácil encontrar valores muy superiores, de hasta varios miles de ppm. El agua de mar contiene cerca de 11,000 ppm. Es un indicador potencial de corrosión. En los análisis rutinarios el ión sodio no se determina sino que se calcula como diferencia entre el balance de aniones y cationes. El sodio se elimina por intercambio iónico, pero como ión monovalente

es una de las primeras sustancias que fugan de la columna catiónica o del lecho mixto (Rigola-Lapeña, 1990).

### **Aniones**

El contenido de cloruros Cl afecta la potabilidad del agua. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. El agua con cloruros puede ser muy corrosiva debido al pequeño tamaño del ión que puede penetrar la capa protectora en la interface óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural. Se valora con nitrato de plata usando cromato potásico como indicador. Se separa por intercambio iónico, aunque es menos retenido que los iones polivalentes, por lo cual el agua de alta pureza requiere un pulido final.

El ión sulfato,  $\text{SO}_4^-$ , corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. El agua dulce contiene de 2 a 150 ppm. Aunque en agua pura se satura a unos 1500 ppm, como  $\text{SO}_4\text{Ca}$ , la presencia de otras sales aumenta su solubilidad. La determinación analítica por gravimetría con cloruro de bario es la más segura. Si se emplean métodos complexométricos hay que estar seguro de evitar las interferencias. No afecta especialmente al agua en cantidades moderadas. Industrialmente es importante porque, en presencia de iones calcio, se combina para formar incrustaciones de sulfato cálcico. Su eliminación se realiza por intercambio iónico.

Existe una estrecha relación entre los iones bicarbonato,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , carbonato  $\text{CO}_3^-$ , el  $\text{CO}_2$  gas y el  $\text{CO}_2$  disuelto. A su vez el equilibrio está afectado por el pH. Estos iones contribuyen fundamentalmente a la alcalinidad del agua. Los carbonatos

precipitan fácilmente en presencia de iones calcio. El agua dulce suele contener entre 50 y 350 ppm de ión bicarbonato, y si el pH es inferior a 8.3 no hay prácticamente ión bicarbonato (Rigola-Lapeña, 1990).

### Clasificación del agua

Indica la clasificación de agua para riego, en función de su conductividad eléctrica en unidades de deciSiemens por metro a 25 grados centígrados (dS m<sup>-1</sup> a 25 °C) y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) (Fig. 2).

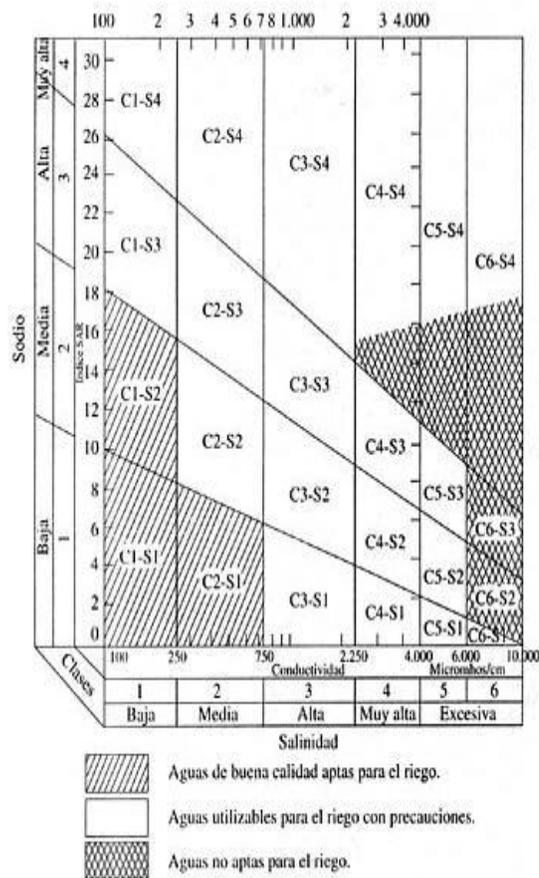


Fig. 2. Normas de Riverside para evaluar la calidad de aguas de riego (Allison *et al.*, 1962).

## **Tratamiento de agua residual**

El objetivo de un tratamiento, es reducir la carga de contaminantes del vertido y convertirlo en inocuo para el medio ambiente, para estos fines se usan distintos tratamientos dependiendo del contaminante que arrastre el agua y otros factores. El estudio de un tratamiento de agua residual se inicia con el análisis del inventario de vertidos y su posible reducción, y del potencial reciclado de agua después de su depuración (Jurado-Guerra, 2000; Randy *et al.*, 1999; Rigola-Lapeña, 1999).

## **Fitorremediación**

La fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados y constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos (Randy *et al.*, 1999; Barrios *et al.*, 2001). La fitorremediación ofrece algunas ventajas y desventajas frente a los otros tipos de biorremediación entre las cuales se pueden mencionar:

**Ventajas:**

- Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y agua contaminada.
- Algunos procesos de degradación ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

**Limitaciones:**

- El proceso se limita a la profundidad de penetración de raíces o agua poco profunda.
- El tiempo del proceso puede ser muy prolongado.
- La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.

La fitoterapia consiste en varias formas. Fitoextracción quita los metales o la materia orgánica de suelos acumulándola en la biomasa de plantas. Fitodegradación, o el Fitotransformación, es el uso de las plantas que absorben, almacenan y degradan los agentes contaminadores orgánicos; la Rizofiltración implica el retiro de agentes contaminadores de fuentes acuosas por las raíces de la planta. Fitostabilización reduce la biodisponibilidad de agentes contaminadores inmovilizándolos o atando a la matriz del suelo, y el Fitovolatilización utiliza las plantas para tomar los agentes contaminadores de la matriz del crecimiento, para

transformarlos y lanzarlos a la atmósfera (Lenntech, 2001). Se representan en la Figura 3 y se explican en el Cuadro 2.

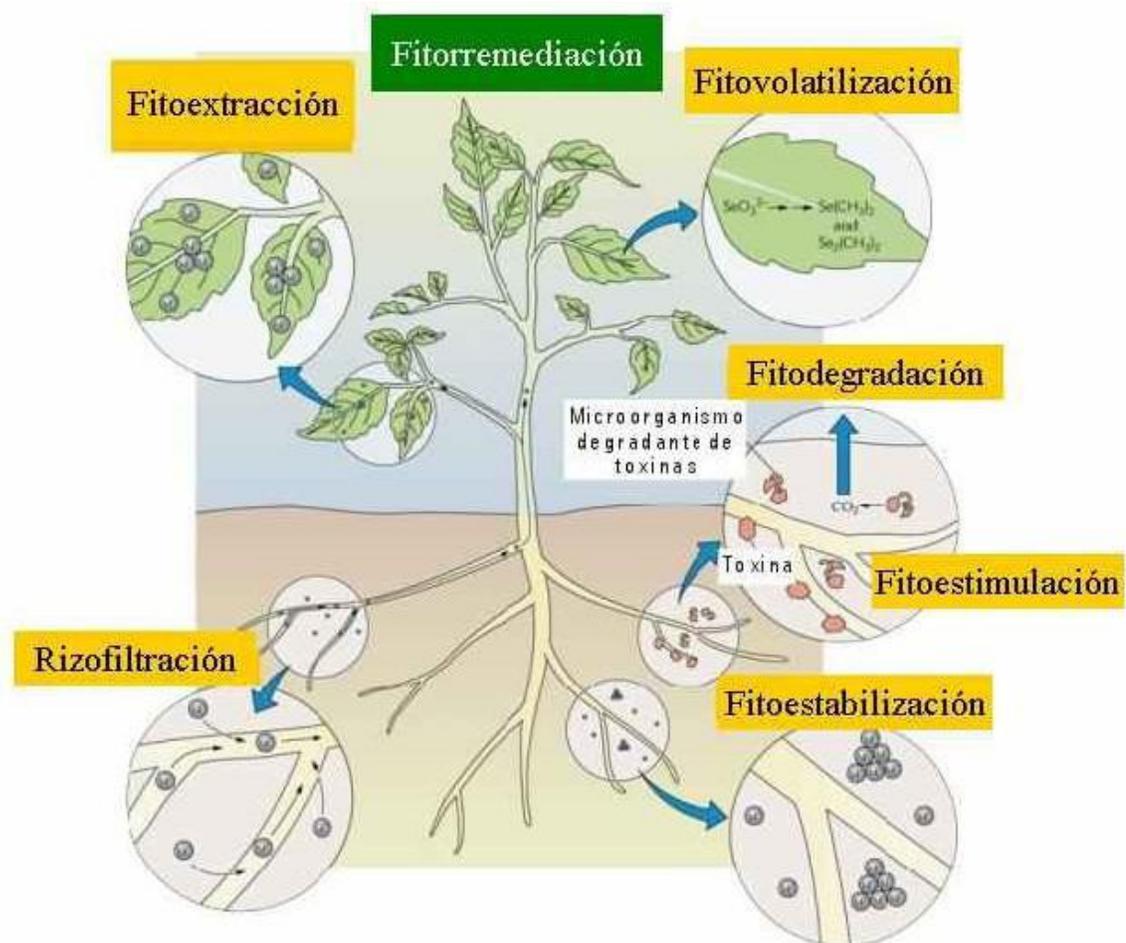


Figura 3. Tipos de fitorremediación en donde ocurre el proceso y se indica la zona de la planta (Lenntech, 2001).

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. El girasol (*Heliantus annuus*) es capaz de absorber en grandes cantidades el uranio depositado en el suelo. Los álamos (género *Populus*) absorben selectivamente níquel, cadmio y zinc. La (*Arabidopsis thaliana*) es de gran utilidad para los biólogos es capaz de

hiperacumular cobre y zinc. Otras plantas comunes que se han ensayado con éxitos como posibles especies fitorremediadoras en el futuro inmediato son la alfalfa, la mostaza, el tomate, la calabaza, el esparto, el sauce y el bambú (Fletcher, 2006).

Cuando se plantea realizar un esquema de fitorremediación de un cuerpo de agua o un área de tierra contaminados, se siembra la planta con capacidad de extraer el contaminante particular, y luego del período de tiempo determinado, se cosecha la biomasa y se incinera o se le da otro curso dependiendo del contaminante. De esta forma, los contaminantes acumulados en las plantas no se transmiten a través de las redes alimentarias a otros organismos (Barrios *et al.*, 2001; Fletcher, 2006).

### **Eficiencia de jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) en la limpieza del agua**

Las condiciones óptimas para la eliminación del rojo metílico del tinte industrial de la solución acuosa fueron establecidas por medio de una técnica de la adsorción del jacinto de agua. La eliminación del tinte fue encontrada para ser asociada a las fuerzas electrostáticas fuertes, el proceso total que era levemente endergónico (dícese de aquellos procesos químicos que requieren aporte de energía para poderse realizar). Nuestro estudio demuestra que el jacinto de agua tiene un gran potencial de quitar color del agua residual y de otros sistemas acuáticos contaminados (Tarawou *et al.*, 2008).

Se ha comprobado la eficacia del cultivo de jacinto acuático para la limpieza del agua como muestra la Figura 4. Con un costo menor al de la purificación con

sustancias químicas, este lirio de agua (*Eichornia crassipes*) logra filtrar agua contaminada mediante su asombrosa capacidad de absorción de los contaminantes que le permite purificar el agua tomando de ella el plomo, mercurio, detergentes y otras sustancias, inclusive hidrocarburos. Aunque su principal ventaja como instrumento de descontaminación consiste en que se reproducen rápidamente, tiene poca tolerancia al clima frío por lo que este tratamiento del agua tendría mayor eficacia en lugares cálidos o templados. La utilización de este sistema no está suficientemente extendida (Núñez-López *et al.*, 2004).

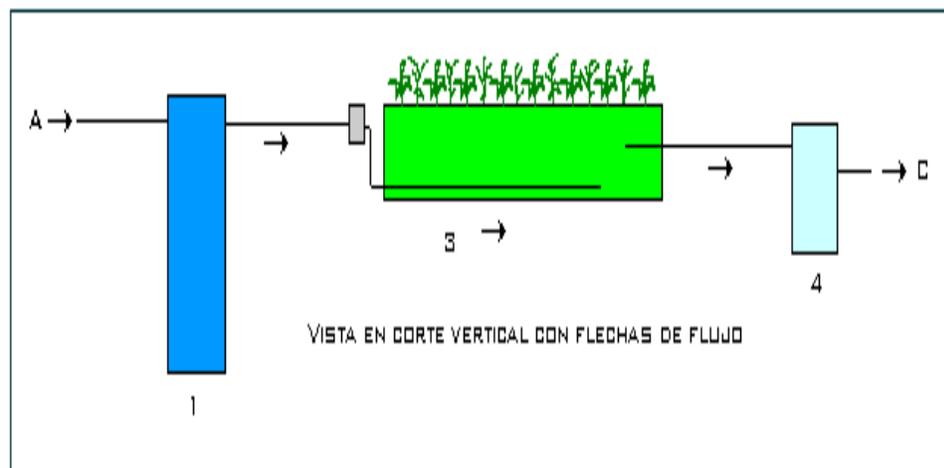


Figura 4. Esquema general de la eficacia del lirio acuático (*Eichornia crassipes*) (Núñez-López *et al.*, 2004).

Debido a su alta adaptación y productividad el jacinto se desarrolla prolíficamente en cuerpos de agua contaminados con material orgánico, ricos en compuestos nitrogenados, fosfatados y de escasa circulación. Se ha estimado una productividad de hasta 199 ton peso seco/ha/año en ambientes con altas concentraciones de nutrientes, sin embargo, predicciones más realistas calculan una producción anual que varía entre 35-90 ton/año (Polprasert, 1996), siendo

verano la época de mejor crecimiento.

El jacinto ha sido sin lugar a dudas una de las especies más estudiadas de las plantas acuáticas. Se ha demostrado que esta especie puede reducir significativamente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), nitrógeno, metales y contaminantes orgánicos traza como cloroformo y fenoles (Polprasert, 1996; Reed *et al.*, 1995; Wolverton, 1987; Brooks y Robinson, 1998), por ejemplo en un estudio realizado en el laboratorio de tecnología espacial de la NASA se encontró una eficiencia de remoción del 94, 90 y 72 % para DBO, SS y N total respectivamente (Reed *et al.*, 1995).

### **Eichornia crassipes alternativa sustentable para el tratamiento de agua contaminada con metales**

El uso del metal especialmente selecto y dirigido a la acumulación de las plantas para la limpieza ambiental es una tecnología emergente llamada fitoterapia. Tres subconjuntos de esta tecnología son aplicables a la remediación tóxica del metal:

**Fitoextracción:** el uso de la acumulación del metal en las plantas para quitar los metales tóxicos de suelo.

**Rizofiltración:** las raíces de la planta quitan los metales tóxicos del agua contaminada.

**Fitoestabilización:** la biodisponibilidad del uso de plantas de eliminar los metales de los suelos tóxicos (Salt *et al.*, 1995).

La contaminación severa de recursos hídricos incluyendo el agua subterránea con el hierro (Fe) debido a las varias actividades antropogénicas ha sido un problema ambiental importante en áreas industriales de Sri Lanka. Por lo tanto, el uso de la mala hierba, jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) en los humedales construidos en el agua residual rica en Fe la fitorremediación parece ser una opción atractiva. El jacinto de agua crecido bajo condiciones de alimento pobre es ideal para quitar el Fe del agua residual con un tiempo de retención hidráulico de aproximadamente seis semanas (Jayaweera, *et al.*, 2008).

Este artículo divulga la eficacia de la fitoterapia del jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) crecido bajo diversas condiciones alimenticias para el agua residual ricas de Al. Se construyó los humedales (sistemas de tratamiento macrófito basados en la planta). Una disposición del control de los jacintos que abarcaban solamente el Al sin los alimentos también fue estudiada. Un equilibrio total fue realizado para investigar la eficacia de la fitoterapia y para identificar los diversos mecanismos del retiro del Al del agua residual. La precipitación química del Al (OH)<sub>3</sub> era una contribución dominante al retiro del Al al principio del estudio, mientras que la adsorción de Al<sup>3+</sup> a los sedimentos fue observada para ser un mecanismo predominante del retiro del Al mientras que progresó el estudio. La fitoterapia principalmente debido a la rizofiltración era también un mecanismo importante del retiro del Al especialmente durante las primeras 4 semanas del estudio. Sin embargo, la precipitación química y la adsorción del sedimento de Al<sup>3+</sup> eran una contribución dominante al retiro del Al en comparación con la fitoterapia. Las plantas cultivadas en la disposición del control demostraron la eficacia más

alta de la fitoterapia del 63 % durante el período de la cuarta semana. Por lo tanto concluimos que el jacinto de agua crecido bajo condiciones alimenticias más bajas es más ideal comenzar un tipo de hornada humedal construida que trata el agua residual rica de Al con un tiempo de retención hidráulico de aproximadamente 4 semanas, después de lo cual se recomienda una cosecha completa (Jayaweera *et al.*, 2009).

Este estudio aclara el potencial de la fitoterapia del jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) para el agua residual industrial rica de nitrógeno total y del fósforo total determinada por 15 semanas bajo diversas disposiciones y un control sin los alimentos dos veces. Un equilibrio total fue conducido para evaluar las eficacias de la fitoterapia y para identificar los mecanismos dominantes del retiro nutriente del agua residual. Nuestros resultados manifestaron que el jacinto de agua es un candidato prometedor a un retiro del nitrógeno total y del fósforo total del agua residual. El retiro 100 % del nitrógeno total y del fósforo total fue observado en el final de la novena semana en todas las disposiciones principalmente debido a la asimilación y el período entre 6-9 semanas se convirtió en el período óptimo después de lo cual se recomienda la cosecha completa. Las plantas que tienen una edad de 6 semanas son ideales para comenzar el humedal libre-flotante y el tiempo de retención hidráulico de 21 días se recomienda para el retiro óptimo del nitrógeno total y del fósforo total. La asimilación y la desnitrificación eran los mecanismos dominantes del retiro del nitrógeno total mientras que la asimilación y la absorción se convirtieron en los mecanismos prominentes en el retiro del fósforo total del agua residual (Jayaweera y Kasturiarachchi, 2009).

Este artículo discute los mecanismos dominantes implicados en la eliminación de 1 mg/l del manganeso del agua residual sintética en los humedales construidos que abarca el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*). Un equilibrio total fue realizado para evaluar los mecanismos dominantes del retiro. La fitoterapia principalmente debido a la fitoextracción contribuyó substancialmente al retiro del manganeso. Sin embargo, la precipitación química era ausente, sugiriendo que el manganeso tiene una solubilidad más alta en el pH medio dado (6.2 a 7.1) condicionada en humedales construidos. El manganeso tiene un potencial pobre de la adsorción. Los humedales construidos que abarca el jacinto de agua son eficaces en la eliminación del manganeso del agua residual a pesar de que las plantas crecen bajo condiciones de nutrientes más altas o más bajas (Kularatne *et al.*, 2008).

### **Metales pesados**

En cuanto a metales pesados, se han realizado una gran cantidad de estudios para evaluar la capacidad del jacinto para absorber y acumular As, Bo, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se y Zn (Chigbo, 1982; Muramoto y Oki, 1983; Heaton *et al.*, 1987; Nor, 1990; Delgado *et al.*, 1993; Ding *et al.*, 1994; Lytle *et al.*, 1998; Zayed *et al.*, 1998; Zhu *et al.*, 1999; Dos santos y Lenzi, 2000), señalan una eficiencia de remoción del 41, 36, 85, 92, 60 % para As, Bo, Cd, Hg y Se respectivamente (Reed *et al.*, 1995). Mientras que recientemente reportaron una eficiencia de remoción de Pb del 99 %, en un efluente de una fábrica de baterías (Dos santos y Lenzi, 2000).

Respecto a la cinética de remoción de metales pesados, se ha determinado que el jacinto acuático puede remover 0.67, 0.57, 0.18, 0.15, 0.50 y 0.44 mg/g biomasa seca/día, de Cd, Co, Pb, Hg, Ni, y Ag respectivamente (Brooks y Robinson, 1998).

En general se ha demostrado que *Eichornia crassipes* acumula más metales en las raíces que en las hojas y que estos pueden ser transferidos desde las raíces a las partes superiores (tallo y hojas), lo cual está relacionado con el tipo de metal. La mayoría de los estudios, sin embargo, se han limitado a determinar la eficiencia de remoción y concentraciones de metales en las diferentes partes de la planta pero pocos se han enfocado a explicar los mecanismos de absorción, transferencia y acumulación. Uno de los estudios más completos al respecto fue el efectuado por (Lyttle *et al.*, 1998) en donde demuestran que el jacinto, por si mismo, es capaz de reducir Cr (VI) a Cr (III), mecanismo que le permite sobrevivir pero que también pudiera ser aprovechado para remediar *in situ* agua contaminada (Núñez-López *et al.*, 2004).

Recientemente, el Instituto de Ecología (INECOL) de Xalapa, en colaboración con el Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados (CIMAV) de Chihuahua, el Centro de Investigación de Yucatán (CIMAV) y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), realizaron una investigación conjunta relacionada con la fitorremediación de agua contaminada con metales pesados (Olguín *et al.*, 2003).

Particularmente en el CIDETEQ se realizaron estudios para evaluar la eficiencia de absorción y tolerancia del jacinto acuático expuesta a agua contaminada con

plomo y As. En términos generales, se determinó que el jacinto de agua es muy eficiente para remover plomo pero no para remover arsénico. En el primer caso se determinó una eficiencia del 70% de remoción para una concentración de 146 ppm (146 mg/l), mientras que en el segundo la cantidad de As removida no fue significativa. En cuanto a tolerancia, las plantas expuestas a plomo se mantuvieron vivas y frondosas durante todo el tiempo de tratamiento (10 días), mientras que las plantas expuestas a arsénico se marchitaron desde las primeras horas y se secaron al segundo día. Lo anterior señala que el jacinto es altamente tolerante al Pb, incluso a altas concentraciones (146 ppm), pero muy sensible al arsénico en bajas concentraciones (10 ppm), lo que permite concluir que el jacinto puede ser utilizado para la fitorremediación de agua contaminada con Pb pero tiene una capacidad limitada para la fitorremediación de agua contaminada con As. Actualmente, se realizan experimentos para extraer y recuperar Pb de las plantas bio-absorbentes empleando diferentes sales de amonio y métodos electroquímicos respectivamente. Básicamente lo que se pretende es por un lado aprovechar las plantas generadas en la fitorremediación de metales como abono o mejorador después de un proceso de extracción y por otro la recuperación electroquímica de los metales para su reciclamiento o confinamiento. Con esto, se espera que en un futuro cercano la Fitorremediación y la Electrorecuperación puedan acoplarse en un método integral alternativo para el tratamiento de agua contaminada con metales en bajas concentraciones (Núñez-López *et al.*, 2004).

## **Problemas con el jacinto de agua**

Se consideran malas hierbas. Esta especie está considerada entre las 100 especies más invasoras del mundo por la UICN (International Union for Conservation of Nature). Esto se debe a que es una especie alóctona (dícese de las plantas que no son nativas del país en que crecen) sin predadores, ni competidores en muchos sitios, por ejemplo, en la península ibérica. Como es invasora, puede que al retirar el exceso de un estanque o acuario particular, vaya a parar a entornos naturales y cause estos daños ecológicos. Es por ello que hoy en día se desaconseja su utilización por particulares, para evitar que se siga extendiendo esta plaga a los ríos por imprudencia en su uso (Gopal y Sharma 1981; Gopal 1987; Núñez-López *et al.*, 2004).

**Eutrofización.** La infestación del jacinto acuático es uno de los principales problemas que se presentan en un gran número de cuerpos de agua con alto grado de eutrofización. En ecología el término eutrofización, designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofo se llama a un ecosistema o un ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes. El desarrollo de la biomasa en un ecosistema viene limitado, la mayoría de las veces, por la escasez de algunos elementos químicos, como el nitrógeno en los ambientes continentales, que los productores primarios necesitan para desarrollarse y a los que llamamos por ello factores limitantes. El medio ambiente ha sufrido a través de la eutrofización o pérdida de oxígeno del agua fresca debido a la descarga de efluentes de áreas urbanas e industriales, al incremento de la agricultura, la deforestación y la degradación general de las cuencas de agua, pueden aportar cantidades importantes de

esos elementos faltantes. El resultado es un aumento de la producción primaria (fotosíntesis) con importantes consecuencias sobre la composición, estructura y dinámica del ecosistema. La eutrofización produce de manera general un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. La explosión de algas que acompaña a la primera fase de la eutrofización provoca un enturbiamiento que impide que la luz penetre hasta el fondo del ecosistema. Como consecuencia en el fondo se hace imposible la fotosíntesis, productora de oxígeno libre, a la vez que aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno de los descomponedores, que empiezan a recibir los excedentes de materia orgánica producidos cerca de la superficie. De esta manera en el fondo se agota pronto el oxígeno por la actividad aerobia y el ambiente se vuelve pronto anóxico. La radical alteración del ambiente que suponen estos cambios, hace inviable la existencia de la mayoría de las especies que previamente formaban el ecosistema. Al lirio acuático (*Eichornia crassipes*) se le considera como una maleza agresiva de difícil erradicación, la cual obstruye la navegación y taponan los sistemas de distribución de agua. La amplia cobertura que logra impide el paso de la luz en la columna de agua e impide la aeración. En un cuerpo de agua cerrado, por ejemplo una laguna, el proceso de eutrofización puede terminar por convertir al cuerpo de agua en tierra firme. Esto ocurre porque los nutrientes que ingresan masivamente al sistema generan una gran biomasa de organismos de vida generalmente efímera que al morir se acumulan sobre el fondo y no son totalmente consumidos por organismos degradadores (especialmente bacterias). El proceso consiste en que la acumulación de materia orgánica termina por convertir al cuerpo de agua en un pantano y, posteriormente, en tierra firme. La principal causa antropogénica de procesos de eutrofización es la contaminación química. Las formas más importantes desde este punto de vista son:

- La contaminación agropecuaria, sobre todo la contaminación difusa de los suelos y de los acuíferos por fertilizantes inorgánicos de origen industrial o extractivo; o por excrementos animales, a causa de una producción masiva de ganado, aves, peces, etc. Estas causas aportan nitrógeno, en forma de nitrato y amonio, y fósforo, como fosfato, a la vez que cationes como potasio ( $K^+$ ) magnesio ( $Mg^{++}$ ), etc.
- Las contaminaciones forestales, por abandono en los ríos de residuos forestales y restos del aprovechamiento maderero, lo que aumenta la materia orgánica disuelta, favoreciendo la proliferación de flora eutrófica, que a su vez remansa la corriente y disminuye el espejo del agua.
- La contaminación atmosférica por óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y óxidos de azufre ( $SO_x$ ). Éstos reaccionan con el agua atmosférica para formar ion nitrato ( $NO_3^-$ ) e ion sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) que una vez que alcanzan el suelo forman sales solubles. De esta manera se solubilizan los cationes del suelo, provocando el empobrecimiento de éste en nutrientes. Esas sales son arrastradas fácilmente a los acuíferos y a los ríos, contaminándolos. En estos últimos la importante incorporación de nutrientes así producida, puede dar lugar a un proceso de eutrofización. Ésta afectará finalmente también a los embalses, así como a los lagos o mares donde los ríos desembocuen.
- La contaminación urbana. Los efluentes urbanos, si no hay depuración o ésta es sólo parcial, aportan nutrientes en dos formas:
  - residuos orgánicos, que enriquecen en elementos previamente limitantes el ecosistema;

- residuos inorgánicos como el fosfato, empleado como emulgente en la fabricación de detergentes. Por esta razón las legislaciones modernas promueven la sustitución del fosfato en la fabricación de estos productos (Ryding y Walter, 1992).

### **Métodos de control del lirio como plaga**

Extracción física, drenaje. Este método es ambientalmente “seguro” y útil para reducir pequeñas infestaciones y para el mantenimiento de canales. La extracción física puede ser por vía manual y por dragado. El drenaje permanente puede ser un método efectivo de control en situaciones apropiadas donde la pérdida del agua no producirá inconvenientes a los poblados adyacentes de dejar sin agua a los animales domésticos, destruir una fuente local de alimentos (por ejemplo peces) o provocar otros efectos ambientales adversos (Matthews *et al.*, 1977; Smith *et al.*, 1984).

Control biológico. La investigación sobre el control biológico de jacinto de agua comenzó en 1961 y los primeros agentes de control fueron liberados en EE.UU. alrededor de 10 años después (Perkins, 1972,1973). Actualmente se utilizan uno o más agentes de control en por lo menos 22 países (Julien, 1992; Limón, 1984).

Seis artrópodos y 3 hongos han contribuido al control biológico del jacinto de agua, pero las especies que han resultado más exitosas son dos picudos (gorgojos): *Neochettina Bruchi* Hustache y *N. eichhorniae* Warner, y una polilla *Sameodes albipunctalis* (Warren) (Harley y Wright, 1984; Julien, 1992).

La situación actual es que se han descubierto agentes de control biológico en las áreas del jacinto de agua. La investigación ha demostrado que estos agentes no pueden sobrevivir y reproducirse sobre ninguna otra planta, excepto sobre el jacinto de agua. Estos agentes han logrado disminuir el área de infestación en varios países. Se prevé que la investigación en curso mejore el nivel general de control. Esto significa que ya se disponen de agentes de control cabalmente investigados y comprobados. Estos agentes han sido extensamente utilizados y la experiencia muestra que se pueden introducir en nuevas regiones, sin riesgos para el cultivo o el ambiente. Los costos de la introducción en las nuevas regiones son relativamente bajos, pero los proyectos tienen que ser dirigidos por científicos experimentados en el control biológico del jacinto de agua (Harley y Forno, 1989).

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **Localización geográfica del área de estudio**

La región lagunera se localiza en la parte central de la porción norte de México. Se encuentra ubicada en las coordenadas latitud norte 25° 33' 25" y 103° 21' 57" de longitud Oeste. La ciudad de Torreón, Coahuila está a una altitud de 1137 metros sobre el nivel del mar, la región cuenta con extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan áreas agrícolas. (INEGI, 2009).

### **Ubicación del área de estudio**

Los lirios fueron recolectados en la planta tratadora de agua samsara ecosystems S.A de C.V, ubicada en Av. 6 de octubre 245 ote. Int. 102 Torreón Coahuila México.

Fueron recolectados en el mes de febrero del 2011, los lirios se encontraban en un estanque dentro de la misma planta tratadora los cuales se encontraban en muy malas condiciones por falta de mantenimiento, fueron extraídos de forma al azar alrededor del estanque fueron seis muestras (lirios) los cuales fueron extraídos con unas tenazas especiales, fueron colocadas en unas hieleras posteriormente fueron transportados a la UAAAN UL en una camioneta, ya en la universidad, se deshidrataron a temperatura ambiente durante 72 horas posteriormente fueron divididas en raíz, tallo y hoja para la deshidratación por medio de la estufa del laboratorio durante 24 horas ya separadas y deshidratadas

totalmente fueron llevadas al molino para obtener las muestras en forma de polvo para su ideal pre digestión y posteriormente digestión.

### **Análisis de metales pesados en plantas**

Se colocó un gr de materia vegetal en matraces Kendal de 500 ml, posterior a este paso se añadieron diez ml de HNO<sub>3</sub> en cada matraz y subsecuentemente se dejó en la campana de extracción de 24-36 hr para predigerir. Cumplido el tiempo de predigestión se inició la digestión por calor colocando los matraces en el digestor Kendal, con una temperatura constante de 125 °C. Se vigiló la clarificación de las digestiones hasta que presentó baja turbiedad, la digestión se aceleró al observar la formación de un residuo mineral en la mayoría de los matraces. Se vigiló la evaporación del HNO<sub>3</sub> cada quince minutos hasta que el residuo en las muestras no se movió a pesar de que se agitaron los matraces, cuando esto ocurrió se sacó del digestor y dejó que se enfriaran (USDA-ARS, 2006).

Una vez que se enfriaron, se aplicó tres ml de HCl y cinco ml de cloruro de lantano en los matraces, procurando abarcar toda la superficie interna de estos, posterior a este paso se vació la muestra a un matraz volumétrico de aforación de cincuenta ml usando un embudo y aforarlo con agua destilada a cincuenta mililitros. Terminado este paso se colocaron papel filtro número uno en embudos de vidrio para someter a la muestra a una filtración y recolectar el filtrado en frascos de plástico. Finalmente se leyó el filtrado en el equipo de espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer (USDA-ARS, 2006).

Los metales pesados evaluados fueron: plomo (Pb), zinc (Zn) y arsénico (As). Las partes vegetativas en que se midieron estos metales fue en la raíz, hoja y tallo del lirio.

### **Procesamiento estadístico de los datos obtenidos**

Con la base de datos así determinada y mediante el uso del Excel (2001), se determinaron los valores estadísticos básicos (de cada metal se obtuvo la media, desviación estándar, valor mínimo y máximo).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Cuadro 1. Contenido de plomo (Pb) en lirio acuático colectado en la planta tratadora SamsaraEcosystems, Torreón Coahuila. Febrero de 2011.**

Planta	RAIZ	TALLO mg kg <sup>-1</sup>	HOJA	Contenido total
<b>1</b>	35	32	36.5	<b>103.5</b>
<b>2</b>	33.5	34.5	39	<b>107</b>
<b>3</b>	31	33	34	<b>98</b>
<b>4</b>	31	34	<b>30</b>	<b>95</b>
<b>5</b>	<b>37</b>	33	32	<b>102</b>
<b>6</b>	33.5	31.5	34	<b>99</b>
<b>Media</b>	<b>33.5</b>	<b>33</b>	<b>34.5</b>	<b>101</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>2.3237</b>	<b>1.1401</b>	<b>3.1898</b>	<b>6.6536</b>

En la raíz del lirio en la planta 5 fue donde se encontró la mayor concentración de Pb, aunque se puede afirmar que los valores son semejantes, no varían ampliamente, y en la planta 4, en las hojas fue donde se encontró el valor más bajo.

Las concentraciones más altas varían según las partes de las plantas. En el lirio el mayor contenido de plomo se presenta en las hojas. Se evidencia también altas concentraciones de plomo en las raíces del lirio.

Como es mencionado por Kos *et al.*, (2003) el potencial de fitoextracción disminuye con diferentes metales, siendo estos los potenciales de fitoextracción para el lirio. Como reportan Chen *et al.*, (2005) La concentración de Pb en raíces y tallos son pobres en las especies *T. repens* y *L. perenne* en presencia de una alta cantidad de micorrizas.

**Cuadro 2. Contenido de zinc (Zn) en lirio acuático colectado en la planta tratadora Samsara Ecosystems, Torreón Coahuila. Febrero de 2011.**

Planta	RAIZ	TALLO mg kg <sup>-1</sup>	HOJA	Contenido total
<b>1</b>	25	17	31.5	<b>73.5</b>
<b>2</b>	15	26	29	<b>70</b>
<b>3</b>	25	14	24	<b>63</b>
<b>4</b>	17.5	<b>7</b>	15	<b>39.5</b>
<b>5</b>	<b>28</b>	21	21.5	<b>70.5</b>
<b>6</b>	26.5	14	40	<b>80.5</b>
<b>Media</b>	<b>22.83</b>	<b>16.5</b>	<b>26.83</b>	<b>66.16</b>
<b>Desviación estandard</b>	<b>5.2788</b>	<b>6.5345</b>	<b>8.6756</b>	<b>20.4889</b>

En la hoja del lirio en la planta 6 fue donde se encontró la mayor concentración de Zn, aunque se puede afirmar que los valores son semejantes, no varían ampliamente, y en el tallo 4 fue donde se encontró el valor más bajo.

En las hojas y raíces del lirio se presentaron los contenidos de zinc más altos. Mientras tanto los tallos presentaron bajos contenidos de zinc.

Sharma y Dietz (2006), confirman que casi siempre, las fitoquelatinas son importantes para la desintoxicación de algunos grupos limitados de metales como lo son  $Cd^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  y  $AsO^{-2}$  así mismo  $Zn^{+2}$  y  $Ni^{+2}$  que causan la presencia de fitoquelatinas y exhiben baja afinidad de ligación.

Como es mencionado por Kos *et al.*, (2003) el potencial de fitoextracción disminuye con diferentes metales, siendo estos los potenciales de fitoextracción para el lirio.

**Cuadro 3. Contenido de arsénico (As) en lirio acuático colectado en la planta tratadora Samsara Ecosystems, Torreón Coahuila. Febrero de 2011.**

Planta	RAIZ	TALLO mg kg <sup>-1</sup>	HOJA	Contenido total
1	10	25	25	60
2	15	25	25	65
3	25	15	25	65
4	5	15	15	35
5	25	5	15	45

<b>6</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>45</b>
<b>Media</b>	<b>14.16</b>	<b>18.33</b>	<b>20</b>	<b>52.49</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>9.1742</b>	<b>8.1649</b>	<b>5.4772</b>	<b>22.8163</b>

En este Cuadro de As nos podemos dar cuenta que los valores son más estables siendo el mayor el 25 localizado en la mayor parte de la planta siendo el 5 el valor mas bajo.

En los tallos y hojas del lirio se presentaron los contenidos de arsénico más altos. Mientras tanto las raíces presentaron bajos contenidos de arsénico.

Sharma y Dietz (2006), confirman que casi siempre, las fitoquelatinas son importantes para la desintoxicación de algunos grupos limitados de metales como lo son  $Cd^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  y  $AsO^{-2}$  así mismo  $Zn^{+2}$  y  $Ni^{+2}$  que causan la presencia de fitoquelatinas y exhiben baja afinidad de ligación.

Según lo aseveran Meharg y Hartley-Whitaker (2002), la forma en que los tejidos de las plantas toman el arsenito en un cierto rango es por complejación con fitoquelatinas. Las plantas presentan una variada sensibilidad o resistencia al arsénico. La resistencia es generalmente activada vía supresión de la alta afinidad al sistema de absorción de fosfato/arsenato.

Plantean Cobbett y Goldsbrough (2002) en contraste, casi siempre, se ha demostrado la formación de complejos de fitoquelatina-As en vivo y dentro de la planta.

Sharma y Dietz (2006), dicen que el arsénico induce la formación de vacuolas.

**Cuadro 4. Contenidos totales de arsénico (As), plomo (Pb) y zinc (Zn) en lirio acuático colectado en la planta tratadora SamsaraEcosystems, Torreón Coahuila. Febrero de 2011.**

Planta	Pb	Zn	As	Total
mg kg <sup>-1</sup>				
1	103.5	73.5	60	237
2	<b>107</b>	70	<b>65</b>	242
3	98	63	<b>65</b>	226
4	<b>95</b>	<b>39.5</b>	<b>35</b>	169.5
5	102	70.5	45	217.5
6	99	<b>80.5</b>	45	224.5
Total	604.5	397	315	1316.5

## **CONCLUSIONES**

En base a las condiciones en que se realizó el presente trabajo y resultados obtenidos podemos concluir que el lirio acuático puede ser utilizado en el tratamiento de agua residual para la eliminación de metales pesados independientemente de su procedencia.

## **RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones que aya fueran que el presente trabajo también podrían tomar muestras de agua del lugar de extracción de los lirios para analizar la cantidad de metales en el agua.

También se podría colocar en agua ya contaminada con metales los lirios para ver el tiempo en que los lirios extraen los metales pesados.

Y por ultimo ver si los lirios también extraen otros tipos de contaminantes a parte de los metales pesados que ya vimos que si los extraen.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Atkins P. W. Jones. 2006. Principios de química. Editorial Panamericana.
- Barrios J. A., A. Rodríguez, A. González., C. Maya. 2001. Quality of sludge generated in wastewater treatment in wastewater treatment plants in Mexico: meeting the proposed regulation. In: Specialized conference on sludge regulation, treatment, utilization and disposal. International Water Association (IWA) UNAM-UAM. Acapulco, Mexico. 2001: 54-61.
- Brooks R. R. y B. H. Robinson. 1998. Aquatic phytoremediation by accumulator plants. In: Brooks R. R. (ed), Plants that hyperaccumulate heavy metals. CAB International, Cambridge, U.S.A., 203-226.
- Chen X., C. Wu., J. Tang., y S. Hu. 2005. Arbuscular mycorrhizae enhance metal lead uptake and growth of host plants under a sand culture experiment. Chemosphere N° 60 665–671.
- Cobbett C. y P. 2002. Goldsbrough phytochelatin and metallothioneins: Roles in heavy metal Dotoxification and Homeostasis. Australia. Annu. Rev. Plant. Biol. N° 82. pp 53-159.
- Dos Santos M. C. y E. Lenzi. 2000. The use of aquatic macrophytes (*Eichornia crassipes*) as a biological filter in the treatment of lead contaminated effluents. Environmental Technology, 21(6): 615-622.

- EPA. 2000. Introduction to Phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio. EPA/600/R-99/107. 72 p.
- Espinoza, L.1997. El agua (El agua residual y sus tratamientos) Pág. 9-13, Editorial Mc GRAW-HILL.
- Fletcher A. 2006. Advances in biotechnological engineering and biotechnology. 52 microbial and enzymatic bioproducts.
- Gopal B. 1987. Water Hyacinth. Elsevier, Amsterdam
- Gopal B., y K. P. Sharma. 1981. Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*) the most troublesome weed of the world. Hindasia, Delhi
- Harley K. L. S. y I. W. Forno. 1989. Management of aquatic weeds. Biological control by means of arthropods. En: A. H. Pieterse y K. J. Murphy (Eds.), Aquatic Weeds, Oxford University Press, Oxford, pp 177-186.
- Holm L. G., D.L. Plucknett, J. V. Pancho y J. P. Herberger. 1977. The World's Worst Weeds. Distribution and Biology. The University Press of Hawaii, Honolulu
- Howar. 2004. (En línea) Uso del agua. Página Ciencias del agua, recursos EPA, USGS., (<http://water.usgs.gov/gotita/wuww.html>, mail: <http://water.usgs.gov>) (Consulta 23 Agosto de 2006).
- INEGI. 2009. (en línea). Ubicación geográfica de Torreón Coahuila. <http://mapserver.inegi.gob.mx>. (Consultada el día 04 de Octubre del 2009).

Jayaweera MW, J. A. Dilhani, R. K. Kularatne y S. L. Wijeyekoon. 2007. Biogas production from water hyacinth (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) grown under different nitrogen concentrations. Department of Civil Engineering, University of Moratuwa, Sri Lanka.

Jayaweera MW, J. A. Dilhani, R. K. Kularatne y S. L. Wijeyekoon. 2008. Contribution of water hyacinth (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) grown under different nutrient conditions to Fe-removal mechanisms in constructed wetlands. Department of Civil Engineering, University of Moratuwa, Sri Lanka.

Jayaweera MW, J. A. Dilhani, R. K. Kularatne y S. L. Wijeyekoon. 2009. Removal of aluminium by constructed wetlands with water hyacinth (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) grown under different nutritional conditions. Department of Civil Engineering, University of Moratuwa, Sri Lanka.

Jurado-Guerra, P. 2000. Effects of biosolids and an inorganic mulch on soilplant relationships in two Chihuahua desert grasslands Lubbock, Texas, U.S.A. Texas Tech University, (Ph. D Dissertation).

Kos B., H. Grčman., D. Leštan. 2003. Phytoextraction of lead, zinc y cadmium from soil by selected plants. plant soil environ., Vol. 49, N° 12 548–553.

Kularatne R. K., J. C. Kasturiarachchi, J. M. Manatunge y S. L. Wijeyekoon. 2008. Mechanisms of manganese removal from wastewaters in constructed wetlands comprising water hyacinth (*Eichornia*

*crassipes* (Mart.) Solms) grown under different nutrient conditions. Environmental Foundation Limited, 146/34, Havelock Road, Colombo 5, Sri Lanka.

Lenntech. 2001. (En línea) Agua residual y purificación del aire. Holding B. V. Rotterdamseweg 402 M 2629 HH Delft, Holanda, España, México y Estados Unidos. info@lenntech.com (Consulta Noviembre de 2006).

Lu J., Z. Fu y Z. Yin. 2008. Performance of a water hyacinth (*Eichornia crassipes*) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. Institute of Agro-Ecology and Ecological Engineering, College of Life Sciences, Zijingang Campus, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China.

Mata-González, R. 1999. Influence of biosolids application on growth, nitrogen uptake, and photosynthesis of two desert grasses, Lubbock, Texas, U.S.A. Texas Tech University. (Ph. D. Dissertation).

Matthews L. J., B. E. Manson y B. T. Coffey. 1977. Longevity of waterhyacinth (*Eichornia crassipes*) seed in New Zealand. Proceedings 6<sup>th</sup> Asian-Pacific Weed Science Conference, 1968 1: 273-277.

Meharg A. A. y J. Hartley-Whitaker 2002. Tansley review N° 133 Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. New Phytologist. N° 154. pp 29-43.

- Moreno-Reséndez, A., Gómez Fuentes, L., Cano-Ríos, P., Martínez-Cueto, V., Reyes-Carrillo, J.L, Puente Manríquez, J.L., y Rodríguez-Dimas, N. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernadero. *Terra Latinoamericana* 26(2): 103-109.
- Núñez-López *et al.*, 2004; Reddy *et al.*, 1989, 1990, 1991; Sculthorpe, 1971).
- Núñez-López R. A., Y. Meas-Vong, R. Ortega Borges y E. Olguín. 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 55(3):69-82
- Olguín E. J., T. Alarcón, Y. Meas, y J. Santamaría. 2003. Phytoremediation in México: The Consolidation of a National Multinstitutional Group. U.S. EPA International Applied Phytotechnologies Conference. March 3-5, Chicago U.S.A.
- Perkins B. D. 1972. Potencial for water hyacinth management with biological agents. Proceedings Annual Tall Timbers Conference on Ecology Animal Control by Habitat Management. February 1972. pp 53-64.
- Perkins B. D. 1973. Release in the United States of *Neochetina eichhorniae* Warner, an enemy of water hyacinth. Proceedings of the 26<sup>th</sup> Annual Meeting of the Southern Weed Science Society (U.S.A.). p 368.
- Polprasert C. 1996. Organic waste recycling, technology and management. 2ed. Wiley. Ontario, Canada. 412 pp.

- Proyecto de Saneamiento de Agua Residual Mediante Filtros Verdes en San José de Los Llanos, (República Dominicana). 2006.  
[www.fundacionglobalnature.org/proyectos/.../filtros\\_rep\\_dom.htm](http://www.fundacionglobalnature.org/proyectos/.../filtros_rep_dom.htm)
- Ramalho R.S. 1996, Tratamiento de agua residual, Editorial Reverté, S.A. Pág. 2,3 y 10.
- Reed S. C., R. W. Crites y E. J. Middlebrooks. 1995. Natural systems for waste management and treatment. 2nd ed. McGraw-Hill Inc. Ney York, U.S.A. 433 pp.
- Rigola-Lapeña, M. 1990. Tratamiento de agua Industrial: agua de proceso y residual. Alfaomega Grupo Editor, págs. 27-39, 43-46, 49-91, 137-154.
- Rigola-Lapeña, M. 1990. Tratamiento de agua Industrial: agua de proceso y residual. Alfaomega Grupo Editor, págs. 27-39, 43-46, 49-91, 137-154.
- Ryding, S. O. y W. Rast. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Unesco. Pirámide. Paris. Madrid. FR. ES. 375 p.
- Salt David E., M. Blaylock, P. B., A. Kumar, V. Dushenkov, B. D. Ensley, I. Chet y I. Raskin. 1995. Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals from the Environment Using Plants. *Bio/Tecnology* 13, 468-474.
- Sharma S. S. y K.-J. Dietz. 2006. REVIEW ARTICLE. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *J. EXP. BOT.* Vol. 57. No. 4. pp. 711–726.

Smith L. W., R. E. Williams, M. Shaw y K. R. Green. 1984. A water hyacinth eradication campaign in New South Wales, Australia. En: G. Thyagarajan (Ed.). Proceedings International Conference on Water Hyacinth, February 1983, Hyderabad, India. UNEP, Nairobi, pp 925-935.

Tarawou T., Horsfall M. Jr. y Vicente J. L. 2008. Adsorption of Methyl Red by water-hyacinth (*Eichornia crassipes*) biomass. Department of Pure and Industrial Chemistry, University of Port Harcourt, Uniport P. O. Box 402, Choba, Port Harcourt, Nigeria.