

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Zentralblatt Für Mathematik
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

Introducción

El agua es uno de los elementos más abundantes de la naturaleza e indispensable para la vida. Actualmente su disponibilidad es paulatinamente menor debido a la contaminación por diversos medios [1], de allí el vital interés en el tratamiento de las aguas residuales, las cuales son de composición variada e incluyen, entre otros, a contaminantes como; compuestos orgánicos (proteínas, grasas) y elementos inorgánicos (nitrógeno, fósforo, cloruros, metales); entre los metales, dependiendo del origen del agua residual podemos conseguir plomo, que es uno de los metales tóxicos más abundante y ampliamente distribuido en el medio ambiente, presentándose además en el suelo y aire. Éste contaminante inorgánico, se encuentra como elemento natural en la atmósfera, y también es liberado al ambiente por actividades humanas (baterías, pigmentos, aleaciones, soldaduras, cubiertas de cable y armamentos), causando daños en el sistema nervioso, urinario, renal y gastrointestinal del ser humano [2].

El objetivo de los tratamientos de aguas residuales es separar y/o transformar los diferentes tipos de contaminantes presentes en el agua, garantizando que posteriormente su calidad no afecte los ecosistemas acuáticos, receptores de estas aguas servidas y cumpliendo con lo exigido en la legislación, [3] estimulando al desarrollo de una serie de métodos para dicho tratamiento, que haciendo énfasis en la eliminación de metales pesados podemos conseguir: precipitación, intercambio iónico y ósmosis inversa, los cuales suelen ser costosos y en algunos casos resultan ser de eficiencia limitada. [4, 5].

Reconociendo esta situación, diversos investigadores han propuesto la búsqueda de sistemas de tratamientos sostenibles, a partir de procesos observados en la naturaleza, adaptados a las necesidades de la comunidad y que no afectan el ambiente. Por tal motivo, la aplicación de sistemas de tratamiento que combinan procesos físicos, químicos y biológicos para remediar los efluentes, como lo es la fitorremediación, se hacen cada vez más factibles. Esta tecnología reduce in situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas [6] y se apoya en el uso de humedales construidos representados por estanques superficiales rellenos con algún tipo de material de soporte (tierra, arena o grava) y plantado con vegetación tolerante a condiciones de saturación de agua, con el objetivo de tratar la contaminación de suelos y agua. [7]

Ahora bien, aun cuando se ha demostrado que la fitorremediación es eficiente para el tratamiento de aguas residuales, no todas las especies de plantas acuáticas

existentes, pueden ser utilizadas para tal fin, ya que deben reunir ciertas características que les permitan adaptarse al medio y crear las condiciones idóneas para que ocurra el proceso de remoción de los contaminantes, ya sea absorbiéndolos directamente o favoreciendo el establecimiento de una comunidad de microorganismos que participen en el proceso de remoción. [3]

En el presente trabajo se planteó evaluar el potencial fitorremediador de las macrófitas *Typha dominguensis* y *Canna generalis*, para el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de plomo.

Parte Experimental

Se utilizó un sistema tipo humedales construidos de flujo superficial, por carga (Batch), a escala de laboratorio, para el tratamiento de agua residual sintética con concentraciones aproximadas de 5, 10 y 15 mg.L⁻¹ de Pb. El agua residual sintética se preparó usando como base, agua residual municipal, previamente clarificada para garantizar la disponibilidad de nutrientes, y se adicionó una solución patrón de nitrato de plomo (II) (Pb(NO₃)₂) en cantidades apropiadas para lograr las concentraciones de plomo mencionadas.

Las macrófitas emergentes usadas (*Typha dominguensis* y *Canna generalis*) fueron colectadas en los drenajes pluviales de la Asociación de Profesores de la Universidad del Zulia (APUZ) y en los alrededores (vivero) del Centro de Investigación del Agua (CIA) respectivamente.

La investigación contó con un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de dos factores (3x3), donde el factor 1 representó el tipo de planta con 3 niveles (Sin plantas (control), *Typha dominguensis* y *Canna generalis*) y el factor 2 la concentración del metal con 3 niveles (5, 10 y 15 mg.L⁻¹), estableciéndose un total de 9 tratamientos con 2 repeticiones por tratamiento. El ensayo se realizó una (1) vez

Las unidades experimentales se ubicaron en un área próxima al sistema experimental de lagunas de estabilización del Centro de Investigación del Agua (CIA) en la Universidad de Zulia, Municipio Maracaibo, Estado Zulia. Cada unidad experimental de los diferentes tratamientos, estuvo conformada por un recipiente de plástico de color negro, con medidas 34 x 64 x 27 cm, acondicionado con 13 cm de capa vegetal como sustrato, donde para el caso de los tratamientos con plantas se sembraron en cada recipiente cinco (5) plantas previamente lavadas, con una altura aproximada de 40 cm y un volumen de agua residual de 12 L para todos los tratamientos. La figura 1 muestra un esquema representativo de las unidades experimentales para cada tratamiento. El tiempo de

retención del agua en las unidades experimentales, estuvo definido en función del tiempo máximo en el cual se logró reducir aproximadamente el 90% de la concentración del metal (4 días).

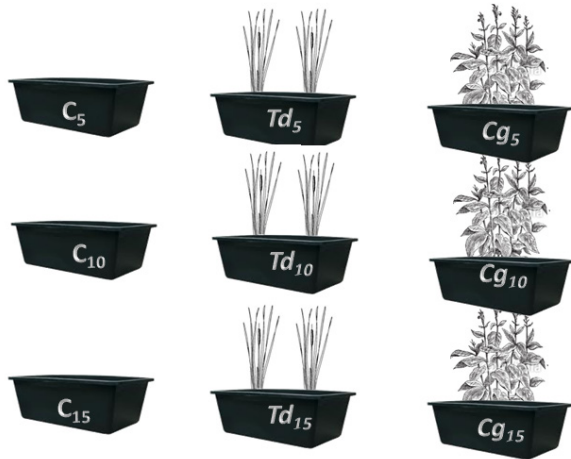


Figura 1. Esquema representativo de las unidades experimentales para cada tratamiento

C: Control, Td: *Typha domingensis* Cg: *Canna generalis*

Durante el ensayo se monitoreó el pH, alcalinidad y concentración de plomo, en el agua residual, al inicio del ensayo y luego diariamente hasta el final del ensayo, además se determinó la concentración de plomo en la planta (hoja - raíz) y el suelo, al inicio y final del ensayo, según procedimientos estándares [8]. Además se calcularon los factores de bioconcentración y translocación del metal [9].

Para el análisis estadístico de los resultados correspondientes al comportamiento de los parámetros fisicoquímicos se realizó un ANOVA de dos vías, utilizando como prueba *post hoc* de comparación de medias Tukey a un nivel de significancia de 95%, empleando el programa SPSS 10.0 para Windows.

Resultados y discusión

Comportamiento de las variables fisicoquímicas medidas en los humedales.

La remoción de plomo de aguas residuales en sistemas de tratamiento, sobre todo utilizando plantas, es dependiente de la variación de diversos parámetros fisicoquímicos como pH, alcalinidad, conductividad y disponibilidad de nutrientes (N y P). De estos, el pH y la alcalinidad son los más importantes ya que afectan en gran medida la eficiencia de remoción de metales en los humedales. Los valores promedios de los parámetros analizados en cada uno de los tratamientos a las diferentes

concentraciones de plomo ensayadas se presentan en la tabla 1.

En lo que respecta al pH, el análisis estadístico demostró que el factor planta ejerció un efecto significativo ($p < 0,05$) en este parámetro, presentándose el siguiente comportamiento: $C > Td > Cg$; por el contrario, la concentración de plomo no mostró diferencia significativa ($p \geq 0,05$) para este parámetro. Los resultados revelan que el pH inicial del agua residual sintética, disminuye en los tratamientos con *Canna generalis*, en los tratamientos con *Typha domingensis* se presenta un efecto amortiguador, mientras que, el tratamiento control mostró un aumento significativo.

En el caso de la alcalinidad, al igual que en el pH se presentó diferencia significativa en cuanto al factor planta ($p < 0,05$); pero no para la concentración del metal ($p \geq 0,05$) siguiendo el comportamiento anteriormente descrito para el pH: $C > Td > Cg$; presentándose disminución de la alcalinidad con respecto al valor inicial, en todos los tratamientos, siendo la mayor disminución en los tratamientos con *Canna generalis*, lo cual evidencia una correlación positiva entre estos dos parámetros.

La diferencia observada entre los tratamientos plantados y el control en cuanto a pH y alcalinidad es atribuible a diversos procesos físicos y químicos que se presentan en los tratamientos. Entre ellos: La conversión de amonio en nitritos durante la nitrificación; lo que conduce a la producción de protones. Estos iones de hidrógeno son entonces neutralizados por iones de bicarbonato. Las macrófitas, durante su proceso de liberación de oxígeno, promueven el proceso de nitrificación. No todos los protones producidos debido a la nitrificación pueden ser neutralizados por los iones bicarbonatos, lo que resulta en una disminución del pH y alcalinidad [10]. En el experimento, el aumento del pH y la menor disminución en la alcalinidad en los controles se debió a la proliferación de microalgas en el agua residual, ya que estas durante la fotosíntesis producen oxígeno y absorben dióxido de carbono, consumiendo los bicarbonatos presentes y provocando un desequilibrio en los componentes de la alcalinidad con el predominio de iones carbonatos e hidroxilos que aumentan el pH. [11]

Remoción de Plomo del agua residual

En cuanto a la remoción de plomo del agua residual en los diferentes tratamientos, el análisis estadístico no presentó diferencia significativa ($p \geq 0,05$) en la reducción de plomo en lo que respecta al factor planta destacando el siguiente orden en cuanto a remoción: $Td > Cg > C$ (Figura 2). Sin embargo, se pudo observar diferencia significativa ($p < 0,05$) en cuanto a la concentración del metal destacando que a mayor concentración del metal mayor es la remoción del mismo.

Tabla 1. Valores promedios de concentración ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y remoción (%) de los diferentes parámetros fisicoquímicos evaluados para los tratamientos con plomo.

Parámetros	Concentración de Plomo ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Concentración (%Remoción) n=2				Concentración Máx. ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) para descarga a cuerpos de agua (Decreto 883). [12]
		Inicial	Control (C)	<i>Typhadominguensis</i> (Td)	<i>Cannageneralis</i> (Cg)	
Pb* ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	5	5,32±0,12	0,78±0,12 (85,40±2,30)	0,43±0,21 (91,89±3,94)	0,71±0,44 (86,72±8,24)	0,5
	10	10,42±0,18	0,69±0,47 (93,43±4,50)	0,58±0,26 (94,47±2,53)	0,64±0,15 (93,84±1,42)	
	15	13,47±0,20	0,66±0,01 (95,14±0,01)	0,92±0,39 (93,15±2,90)	0,63±0,54 (95,36±3,97)	
pH*	5		7,90±0,26	7,47±0,02	6,59±0,03	
	10	7,30±0,30	8,02±0,57	7,25±0,13	6,50±0,01	6-9
	15		8,15±0,57	6,94±0,17	6,60±0,05	
Alcalinidad* ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ CaCO ₃)	5		255,00±5,66	224,75±1,06	160,75±27,93	
	10	298,00±19,29	242,00±4,24	198,13±13,97	110,00±2,83	-
	15		227,75±12,37	180,25±16,62	144,00±0,71	

*Parámetros determinados diariamente durante el ensayo.

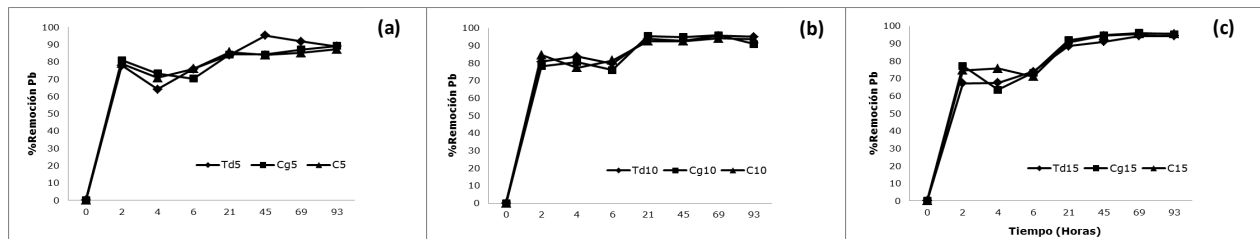


Figura 2. Remoción de Pb del agua residual (a) $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (b) $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y (c) $15\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

En función de los resultados presentados cabe destacar que solo para el caso del tratamiento con *Typha* a $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Pb, se logra cumplir con lo establecido en las normas para el control de vertidos a cuerpos de agua que establece una concentración máxima de $0,5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Aun así se considera importante el porcentaje removido tomando en consideración las concentraciones que se manejaron del metal.

En la figura 2 se puede apreciar que la mayor remoción del metal se da, independiente de la concentración y del tipo de tratamiento, a las 2 horas de exposición al agua residual y potenciándose a las 21h, alcanzando la mayor remoción a las 93h de tratamiento. Esto indica que el metal pudo haberse adherido a sólidos en suspensión y depuesto sobre el suelo. Sin descartar posterior absorción por parte de las plantas en los tratamientos con *Typha dominguensis* y *Canna generalis*; ya que las condiciones de pH presentadas en el medio hacen favorables la disponibilidad del metal para la planta en estos tratamientos. En cambio, con respecto al control la remoción se incrementó debido al aumento de pH que hace posible la precipitación del metal. El plomo se puede encontrar soluble y estable en soluciones ácidas o neutras y comienza a precipitar a pH superiores a 7,8. [13, 14]

Lesage y col. 2007 citado por Marchand y col. 2010 [15,16], exponen que existen cuatro mecanismos que pueden afectar la eliminación de metales en humedales.

El primero es la adsorción a los sedimentos de textura fina y de materia orgánica [17]. Además, la precipitación en forma de sales insolubles (principalmente sulfuros y oxihidróxidos), seguido de la absorción inducida por los cambios en los ciclos bioquímicos de plantas y bacterias [18] y finalmente la deposición de sólidos en suspensión debido a las tasas de flujo bajas. Esto debido a que las macrofitas emergentes promueven la sedimentación de estos sólidos en suspensión [10].

Para las partículas menos densas que el agua, la sedimentación es posible sólo después de la formación de los flóculos que se producen debido a que partículas coloidales presentes en el agua, se desestabilizan pudiendo interactuar entre ellas y unirse formando aglomerados de mayor tamaño que luego sedimentan; además, pueden adsorber otros tipos de materiales en suspensión, incluyendo los metales [19]. Todo esto conduce a la acumulación de metales en el sustrato de los humedales.

Los resultados presentados son superiores a los reportados por Khan y col. 2009 [20] y Blanco y col. 2011 [21]. Los primeros obtuvieron 50% de remoción de plomo evaluando un humedal de flujo superficial plantado con macrofitas emergentes y flotantes para el tratamiento de aguas residuales industriales con concentraciones de Pb de $1,56\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ operando a un tiempo de retención hidráulico de 40h, mientras que los segundos reportaron 52,92% de remoción de Pb en humedales de flujo subsuperficial

a un tiempo de retención hidráulico de 7 días, utilizando *Typha dominguensis*, *Cyperus luzulae* y *Cyperus feras*, para el tratamiento de aguas de producción de petróleo con concentraciones de 0,17mg*L⁻¹ de plomo.

Concentración de plomo en el suelo y macrofitas

Los resultados sobre la concentración de plomo (mg*Kg⁻¹) en el suelo y tejido vegetal de las plantas (parte aérea de las plantas y raíz) para los tratamientos C, Td y Cg a las concentraciones de 5 mg*L⁻¹, 10 mg*L⁻¹ y 15 mg*L⁻¹ de Pb son presentadas en la tabla 2.

Los resultados muestran que no se presenta diferencia significativa ($p \geq 0,05$) entre la concentración de plomo retenida en el suelo de los tratamientos plantados con *Typha* y *Canna*, pero sí ($p < 0,05$) entre la concentración de estos y la retenida en el suelo del tratamiento control. Para lo cual se evidenció que en el control la concentración del metal al final del ensayo es mayor y que logra retener (diferencia entre la concentración inicial y final) más que en los tratamientos con plantas, lo que evidencia que el desarrollo de las plantas en el humedal, limita el contacto del metal con el suelo.

En lo que respecta a la absorción de plomo en el tejido vegetal de las macrofitas, se determinó el porcentaje

de asimilación del metal en cada una de ellas para las diferentes concentración de plomo en el agua residual obteniéndose los siguientes valores: para *Typha* (5: 60,94%; 10: 47,96%; 15: 31,82%) y para *Canna* (5: 272,32%; 10: 357,79%; 15: 689,01%), evidenciándose en general una mayor asimilación por parte de *Canna generalis*, dicha asimilación aumenta con la concentración del metal en el agua residual, caso contrario a la *Typha dominguensis*. Además, en los resultados de la tabla 2, se puede apreciar que la *Typha* logra retener mayor concentración de plomo en las hojas que en la raíz y se hizo más evidente a la concentración de 5mg*L⁻¹ plomo en el agua residual. Por el contrario, *Canna* logra retener mayor concentración del metal en la raíz que en la hoja y a la mayor concentración del metal en el agua residual.

En la tabla 3 se presentan los factores de bioconcentración y translocación de plomo, para cada una de las macrófitas a las diferentes concentración del metal en el agua residual. El factor de bioconcentración (FBC) está referido a la capacidad de acumulación de metales por parte de las plantas en relación con la concentración del metal en el agua residual y recientemente está siendo reportado para muchas plantas, referenciando con un buen potencial de acumulación a aquellas especies que presenten valores superiores a 1,00. El factor de translocación (FT) está referido a la capacidad que tiene

Tabla 2. Concentraciones promedio (mg*kg⁻¹) de Pb en suelo y tejido de plantas.

Parámetro	Concentración de Pb en el agua residual (mg*L ⁻¹)		Tratamientos						
			C		Td		Cg		
			Suelo	Suelo	Hoja	Raíz	Suelo	Hoja	Raíz
Pb (mg*Kg ⁻¹)	5	Inicio	7,7	6,7	14,0	11,6	4,5	5,5	5,7
		Final	11,7	9,5	33,0	8,2	6,8	12,8	28,9
	10	Inicio	4,7	8,5	14,8	12,1	5,9	4,8	10,6
		Final	16,1	12,9	27,6	12,2	9,6	19,3	51,2
	15	Inicio	7,2	7,3	12,6	16,0	5,8	9,0	9,2
		Final	15,2	10,9	20,7	17,0	9,4	11,6	132,0

Tabla 3. Factores de Bioconcentración (FBC) y Translocación (FT) de Pb para *Typha dominguensis* y *Canna generalis*

Concentración de Pb (mg*L ⁻¹)	FBC				FT	
	<i>Typha dominguensis</i>		<i>Canna generalis</i>		<i>Typha dominguensis</i>	<i>Canna generalis</i>
	Hoja	Raíz	Hoja	Raíz		
5	3,57	-	1,37	9,77	4,02	0,44
10	1,23	0,01	1,39	8,80	2,26	0,38
15	0,60	0,07	0,19	18,92	1,22	0,08

la planta de transportar el metal de la raíz a la zona área de la misma [9].

Los valores presentados de FBC y FT para *Typha* y *Canna* corroboran lo anteriormente expuesto dejando claro que *Typha dominguensis* bioacumula plomo en sus hojas en mayor proporción que en la raíz; ya que es capaz de translocar el metal. Sin embargo, esa capacidad de translocación y acumulación disminuye a medida que aumenta la concentración de plomo en el efluente. En cambio, *Canna generalis*, logra bioacumular mayor concentración de plomo en las raíces que en las hojas dejando claro que hay poca translocación del metal y que aunque la mayor acumulación de Pb se da a la mayor concentración del metal ($15\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Pb) en el agua residual, su capacidad de translocación se ve afectada en estas condiciones.

Comparando ambas plantas, *Canna generalis* logra en general bioacumular mayor concentración de plomo que *Typha dominguensis*; lo cual la cataloga como una planta hiperacumuladora y con elevado potencial para la fitorremediación de aguas residuales industriales con altas concentraciones de este metal. No obstante, *Typha* por el hecho de poder translocar en mayor proporción el metal a la zona cosechable de la planta hace posible la remoción definitiva del contaminante a través de la práctica de la poda, de esta forma se eliminaría completamente del sistema, para posteriormente proceder a recuperar el metal de la biomasa mediante incineración.

Lo expuesto según estos resultados concuerda con lo encontrado por [20] quienes reportaron que la absorción de Pb por parte de las plantas varía de especie a especie. Las tendencias de la absorción y la acumulación de Pb en las diferentes especies de plantas evaluadas por estos investigadores, estuvieron en el siguiente orden: *Pistia stratiotes* > *Ceratophyllum demersum* > *Lemna gibba* > *Carex aquatilis* > *Typha latifolia* > *Juncus articulatus* > *Eichhornia crassipes* > *Scirpus cypernius* > *Alisma plantago-aquatica* > *Polygonum glabrum* > *Phragmites australis*. En este estudio, la concentración de metales en el tejido vegetal fue mayor en las raíces que en las partes aéreas. Las concentraciones de Pb variaron de 3,8 a $7,2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los tejidos de la raíz; mientras que varió desde 1,5 hasta $3,2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en los tejidos aéreos. Además, encontraron que la más alta concentración de Pb (raíz y tejidos aéreos) se detectó en *Pistia stratiotes* con FBC en raíz y tejido aéreo de 4,8 y 2,2, respectivamente. Por lo que, suponen que esta especie vegetal es hiperacumuladora de Pb, y por lo tanto, se puede utilizar para la eliminación de Pb de aguas residuales. Cabe destacar que en este estudio se obtuvieron valores superiores a los reportados por estos investigadores; en raíz para *Canna* y en algunos casos en hoja para *Typha*.

Otros investigadores [10, 22]; expresaron que las macrófitas no son sumideros importantes para la eliminación de metales. Generalmente, sólo una pequeña cantidad de metales tomados por las raíces se transporta a los brotes [23]. La poca translocación puede ser debida al secuestro de la mayoría de los metales en las vacuolas de las células de la raíz, que puede ser una respuesta natural para aliviar los efectos potencialmente tóxicos [24]. Sin embargo, otros estudios han demostrado que los metales como el Cr, se almacenan de manera eficiente en toda la planta [25, 26].

Conclusiones

La remoción de Pb en los tratamientos, no presentó diferencia significativa en cuanto al factor planta con eficiencias de remoción en el rango de 85,40% a 95,36%, remociones que aumentaron con la concentración de plomo en el agua residual, estando liderada por los mecanismos de absorción del metal al material en suspensión presente en el agua residual y la correspondiente deposición en el suelo y a la absorción del metal por parte de la planta. *Canna generalis* logró absorber mayor concentración de Pb en la raíz que en la parte aérea, comparado con la *Typha dominguensis* que presentó mayor capacidad de translocación, lo cual la hace más atractiva para su implementación en sistemas a flujo continuo ya que la eliminación del metal del sistema sería total a través de la práctica de la poda. Queda demostrado el rol de estas macrofitas como bioacumuladoras de Pb en sistemas de tratamientos de aguas residuales, tipo humedales construidos.

Agradecimientos

Al Proyecto PEII 2012000184 y al Centro de Investigación Del Agua (CIA) de la Universidad del Zulia, por proporcionar el financiamiento de la investigación y permitir la utilización de sus instalaciones para la realización de la misma.

Referencias Bibliográficas

- [1] Romero M., Colín A., Sánchez E. y Ortiz M. "Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de carga orgánica". Rev. Int. Contam. Ambient, Vol. 25, No 3 (2009) 157-167.
- [2] Vidal M. "Evaluación de los mecanismo de adsorción y acumulación intracelular de plomo (Pb^{+2}) en sistemas continuos de fitorremediación con *Salvinia minima*. Tesis de grado, Instituto de Ecología C.A. México (2009)

- [3] Osnaya M. "Propuesta de diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez, Tesis de grado, Universidad de la Sierra Juárez (2012).
- [4] Estrada I. "Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales, Tesis de grado, Escuela de Química, Facultad de Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, (2010) pp 35-48.
- [5] Pérez M., Domínguez E., Martínez P., López M., González Y. y Monteagudo M. "Eficiencia de diferentes sustratos de filtros de suelo plantados en la depuración de aguas residuales domésticas", Revista CENIC, Vol. 40. No 3 (2009) 181-185.
- [6] Delgadillo A., González C., Prieto F., Villagómez J. y Acevedo O. "Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution", Tropical and Subtropical, Vol. 14 (2011) 597- 612.
- [7] Tejeda C. "Diseño de un humedal para la remoción de Cd, Ar, y Cr con plantas *Typha latifolia* (Españada)", Tesis de grado, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (2010).
- [8] APHA, AWWA y WPCF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition (2005).
- [9] Yadav S., Juwarkar A., Kumar G., Thawale P., Singh S. y Chakrabarti T. "Bioaccumulation and phyto-translocation of arsenic, Chromium and Zinc by *Jatropha curcas* L.: Impact of diary sludge and biofertilizer". bioresource technology Vol. 100 (2009) 4614-4622.
- [10] Lee B. y Scholz M. "What is the role of *Phragmites australis* in experimental constructed wetlands filters treating urban runoff". Ecological Engineering. Vol. 29. (2007) 87-95.
- [11] Kyambad J., Kansime F. y Dalhammar G. Water Air and Soil pollution 165 (2005): 37-59.
- [12] Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Gaceta oficial de la República de Venezuela, 5.021 (Extraordinaria) (1995).
- [13] Blaylock M., Salt D., Dushenkov S., Zakharova O., Gussman C., Kapulnik L., Ensley B. y Raskin I. "Enhanced accumulation in indian mustard by soil applied, chelating agents". Environment. Science technology. 31 (1997) 860-865.
- [14] Jiménez M., Bacchetta G., Casti M., Navarro F., Lallena A. y Fernández E. "Potential use in phytoremediation of three plant species growing on contaminated mine-tailing soils in Sardinia". Ecological Engineering 37 (2011) 392-398
- [15] Lesage E. Rousseau D., Miers E., Tack F. y De Paww N. "Accumulation of metals in a horizontal Subsurface Flow Constructed wetland treating domestic Wastewater in Flanders, Belgium". Science of the total Environment. Vol. 380. (2007) 102-115.
- [16] Marchand L., Mench M., Jacob D. y Otte M. "Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: A review". Environmental pollution Vol. 158. (2010) 3447-3461.
- [17] Gambrell R. "Trace and toxic metal in wetlands a review". Journal of Environmental Quality. Vol. 23 (1994) 883-889.
- [18] Kadlec R. y Knight R. "Treatment Wetlands". Lewis Publisher Boca Raton FI (1996).
- [19] Matagi S., Swai D. y Mugabe R. "Review of heavy metal removal mechanisms in wetlands". Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish. Vol. 8. (1998) 23-35.
- [20] Khan S., Ahimad I., Shah M., Rehman S. y Khalig A. "Use of Constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater". Journal of environmental Management. Vol. 90. (2009) 3451-3457.
- [21] Blanco E., Paz N., Gutiérrez E., Caldera Y. y Núñez M. "Uso de humedales construidos de flujo subsuperficial para la remoción de cobre y plomo de aguas de producción de petróleo". Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia. Vol.34 No 3. (2011) 238-245.
- [22] Mays P. y Edwards G. "Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed Wetlands receiving acid mine drainage". Ecological. Engineering. Vol.18 (2001) 251-252.
- [23] Lu L., Tian S. y Yang X. "Cadmium uptake and xylem loading are active processes in the hiperaccumulator". *Sedum alfredii*. Journal of. Plant Physiology Vol. 166. (2009) 579-587
- [24] Shanker A., Cervantes C. y Losa H. "Chromium toxicity in plants". Environment Int. Vol. 31. (2005) 739-753.
- [25] Southichal B., Nakano K., Nomura M., Chiba N. y Nishimura O. "*Phragmites australis* a novel biosorbent for removal of heavy metals from aqueous solution". water Research. Vol. 40. (2006) 2295-2302.

- [26] Zhang B. Zheng J y Sharp R. "Phytoremediation in engineered wetlands: Mechanisms and applications". *Procedia environmental Sciences*. Vol. 2. (2010) 1315-1325.

Recibido el 22 de Enero de 2016
En forma revisada el 27 de Junio de 2016



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 39. N°2, Agosto 2016_____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Agosto de 2016, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve