

Removal of nutrients and organic matter in a constructed wetland, in function of the development of the macrophyte *Typha dominguensis* Pers

Alexandra Vera¹, Charity Andrade², Eddyamar Flores³, Marisel Núñez⁴,
Carmen Cárdenas³, Ever Morales^{2*}

¹Departamento de Química, Facultad de Agronomía.

²Laboratorio de Microorganismos Fotosintéticos, Facultad de Ciencias.

³Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería.

Universidad del Zulia. Apartado postal 526. Maracaibo 4001-A, Venezuela. Telf. (0261)7597734

⁴Programa de Ingeniería y Tecnología, Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt.

*evermster@gmail.com

Abstract

The constructed wetlands are based on the use of emergent macrophytes for wastewater treatment. It was assessed nutrient removal and organic matter in relation to the development of the macrophyte *Typha dominguensis* in a constructed wetland, fed with domestic wastewater from a stabilization pond system, compared to a control with no plants, and determining optimal time of pruning. The study was carried out during two periods, defined by present of inflorescence and pruning of vegetation. Highest organic matter removal efficiency was reported in the wetland during two periods, with values of 30.29 and 30.48% for COD, 34.63 and 31.63% for BOD, 43.9 and 52.4% for TSS, 42.9 and 60.8% for VSS. Nutrient removal did not show differences between wetland and control, with total removal of 45-55% for NH₄⁺ and 48-50% for KTN. Phosphorous highest removal was achieved in control with 19.17 and 15.35% for each period. The growth of the plant and the nutrient removal and organic matter were correlated during the first period. Optimal harvest time was near to the eighth week. It is demonstrated the important role of *Typha dominguensis* in the process of organic matter removal, however more studies are needed to accurately determine the importance of the vegetation in nutrient removal.

Key words: Constructed wetland, organic matter, *Typha dominguensis*, wastewaters.

Remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal construido en función del desarrollo de la macrófita *Typha dominguensis* Pers

Resumen

Los humedales construidos se basan en la utilización de macrófitas emergentes para la depuración de aguas residuales. Se evaluó la remoción de nutrientes y materia orgánica en función del desarrollo de la macrófita *Typha dominguensis* en un humedal construido, comparado con una fosa control sin plantas, alimentados con agua residual doméstica de un sistema de lagunas de estabilización, y se determinó el tiempo óptimo de poda. El estudio se realizó en dos periodos definidos por la inflorescencia y posterior poda de la vegetación. La mayor eficiencia de remoción de materia orgánica se reportó en el humedal en ambos periodos, con promedios de 30,29 y 30,48% de DQO; 34,63 y 31,63% de DBO; 43,9 y 52,4% de SST y 42,9 y 60,8% de SSV, en el primero y segundo periodo, respectivamente. Los valores de remoción de nu-

trientes no presentaron diferencia significativa entre el humedal y el control, alcanzando valores de 45 y 55% para NH_4^+ y 48 y 50% para NTK, respectivamente. La mayor remoción de fósforo se presentó en el control con 19,17 y 15,35%, para cada periodo. El crecimiento de la planta y la remoción de nutrientes y de materia orgánica presentaron correlación durante el primer periodo de estudio. El tiempo óptimo de poda se evidenció hacia la octava semana de crecimiento. Se demuestra el rol importante de *Typha domingensis* en el proceso de remoción de materia orgánica sin embargo se necesitan más estudios para determinar con precisión la importancia de la macrófita *Typha domingensis* en la remoción de nutrientes.

Palabras clave: Humedal construido, materia orgánica, *Typha domingensis*, aguas residuales.

Introducción

Los humedales construidos son sistemas de depuración cuyos componentes principales son el sustrato, la vegetación y el agua, que se caracterizan por su simplicidad de operación, un bajo o nulo consumo energético, una baja producción de residuos, un bajo impacto ambiental auditivo y una buena integración al medio ambiente. El empleo de esta tecnología ha sido muy difundido en gran parte de Latinoamérica países como México, Chile, Colombia y Brasil la han implementado en el tratamiento de Aguas residuales urbanas. Dentro de sus componentes, se ha demostrado que las plantas constituyen el principal componente biológico [1]. Además, no sólo asimilan directamente los contaminantes en sus tejidos, sino que también actúan como catalizadores para las reacciones de purificación e incrementan la diversidad ambiental de la rizosfera, promoviendo una variedad de reacciones químicas y biológicas que aumentan la purificación.

Aún cuando se ha demostrado la eficiencia de los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales urbanas, poco se sabe con respecto a la importancia del papel que cumple la vegetación en la depuración de las mismas. La vegetación del humedal presenta su ciclo de crecimiento natural, culminado éste comienza a decaer y se va degradando, comunicando un aporte extra de materia orgánica y nutrientes al sistema, además de la recibida con el influente. Por lo tanto, es necesario establecer la relación entre el crecimiento de la planta y la eficiencia en la remoción de contaminantes, para favorecer el mantenimiento y funcionamiento del sistema mediante la práctica de la poda. En tal sentido, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la reducción de los contaminantes presentes en aguas residuales a través de un humedal cons-

truido, en función del desarrollo de la macrófita *Typha domingensis*.

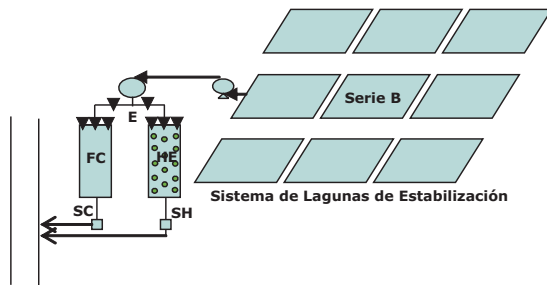
Parte experimental

El sistema estuvo constituido por un humedal construido experimental de flujo superficial libre y una fosa control, ambos con un área superficial de 22,5 m² presentando dimensiones de 15 m × 1,5 m × 0,45 m), acondicionados con aproximadamente 20cm de capa vegetal como sustrato.

En el humedal experimental se sembraron 112 plantas de la macrófita *T. domingensis* con una altura promedio de 15 cm (previa poda), a una distancia aproximada de 25 cm entre cada planta, en comparación a la fosa control sin presencia de la macrófita. Ambos, sistemas fueron alimentados con agua residual urbana, efluente de un sistema experimental de lagunas de estabilización (Serie B), ubicado en el Centro de Investigación del Agua de La Universidad del Zulia (CIA), en Maracaibo, Venezuela (Figura 1).

Tanto el humedal experimental como la fosa control, trabajaron con tiempos de retención hidráulico teórico de dos días. La parte experimental de la investigación se realizó en dos periodos. El primer periodo, entre los meses de Agosto a Octubre del año 2006, correspondió desde la siembra de las plantas, hasta la aparición de su inflorescencia, luego de lo cual se realizó la poda. Mientras que, el segundo lapso, comprendió entre los meses de Enero a Marzo de 2007; partiendo de una nueva poda de las plantas hasta la aparición de la siguiente inflorescencia.

El monitoreo del crecimiento de la planta se realizó semanalmente, a través de la medición de su altura y producción de pigmentos (clorofila a y b siguiendo la metodología descrita por Jeffrey y Humphrey (1975) [2] y carotenoides siguiendo la metodología propuesta por Strickland y Parson



E: Entrada; FC: Fosa Control; HE: Humedal Experimental;
SC: Salida de la Fosa Control; SH: Salida del Humedal Experimental

Figura 1. Esquema representativo del sistema de tratamiento.

1972) [3]. Para conocer el funcionamiento del tratamiento, se determinaron los parámetros físico-químicos pH, Oxígeno Disuelto (O.D), Conductividad, Temperatura, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_4^+$) y Fósforo Total (PT) en el agua a la entrada y a la salida, tanto del humedal experimental como de la fosa control, siguiendo los procedimientos descritos en el Standard Methods for Examination the Water and Wastewater [4].

Para el análisis de los resultados se realizó una prueba t-student para la comparación de medias a un nivel de significancia de 0,05 y un análisis de correlación lineal utilizando el coeficiente de correlación de Pearson para realizar la comparación entre la altura y remoción y estudiar la relación entre ellos. Estos análisis se realizaron utilizando el programa SPSS 10.0 para Windows.

Resultados y discusiones

Parámetros de control

En la Tabla 1 se presentan los valores promedios para los parámetros pH, conductividad, OD y temperatura, en los dos periodos de estudio del sistema de tratamiento.

Según los valores reportados en la Tabla 1, no se presenta diferencia significativa ($p \geq 0,05$) para el primer periodo de estudio, se mantuvo el pH en un rango entre 8,00 y 8,97, lo cual revela un efecto amortiguador en el sistema, al compararse los valores de salida del humedal experimental y de la fosa control con respecto al de la entrada. No obstante, para el segundo periodo, sí se observa diferencia significativa ($p < 0,05$), presentándose una disminución considerable de éste a la salida del humedal, con un valor promedio de 7,7 en comparación con la entrada que presentó un valor promedio de 9,65; lo cual puede estar relacionado con la producción de sustancias orgánicas que acidifican el medio, generadas dentro del humedal durante el crecimiento y muerte de la planta, y por la mineralización de la materia orgánica [5].

En relación con la concentración de O.D en el afluente y efluente tanto del humedal como de la fosa control, no se observó diferencia significativa para el primer periodo de estudio ($p \geq 0,05$), reportándose promedios de 3,13, 3,93 y 4,68 $mg.L^{-1}$ para el afluente, efluente del humedal y efluente del control respectivamente. Sin embargo, para el segundo periodo, sí hubo diferencia significativa ($p < 0,05$), presentándose valores de 3,99, 1,29 y 1,50 $mg.L^{-1}$ para el afluente, efluente

Tabla 1
Valores promedios de los parámetros fisicoquímicos de control durante los diferentes periodos de estudio

Parámetro	Entrada		Salida del Humedal		Salida del Control	
	1 ^{er} Periodo	2 ^{do} Periodo	1 ^{er} Periodo	2 ^{do} Periodo	1 ^{er} Periodo	2 ^{do} Periodo
pH	8,96±0,81	9,65±0,81	8,05±0,75	7,77±0,54	8,36±0,54	8,97±0,75
OD ($mg.L^{-1}$)	3,13±1,72	3,99±1,93	3,93±3,25	1,29±1,00	4,68±3,59	1,50±1,44
Conductividad ($\mu s.cm^{-1}$)	513±30	572±28	521±45	641±47	531±41	601±31
Temperatura ($^{\circ}C$)	29,6±1,24	-	28,9±2,03	-	29,8±2,59	-

del humedal y efluente del control, respectivamente. Estos resultados revelan una condición anóxica en el humedal producida por la mineralización de la materia orgánica, lo que ocasiona el aumento de la demanda de oxígeno [6].

En relación con la conductividad, no se presentó diferencia significativa para el primer periodo de estudio ($p \geq 0,05$), manteniéndose los valores entre 510 y 530 $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$. Mientras que, para el segundo periodo, se observó un aumento de la conductividad del efluente, tanto a la salida del humedal como a la salida de la fosa control, con relación al valor de la conductividad del afluente al sistema ($p < 0,05$). Este incremento estaría relacionado a la reducción del volumen hídrico y la posterior concentración de sales, producto de la transpiración de las plantas. Además, con la producción de una descarga de iones producto de la descomposición de las raíces y rizomas que emergen del sustrato, como consecuencia de la actividad de las bacterias presentes en las mismas [5].

Con respecto a la temperatura, no se presentó diferencia significativa ($p \geq 0,05$) entre los valores promedios reportados de 29,6, 28,9 y 29,8°C para la entrada, salida del humedal y salida del control, respectivamente. Sin embargo se aprecia un ligero descenso de la temperatura a la salida del humedal, evidenciando la inercia térmica de la vegetación [7].

Materia orgánica

La remoción de materia orgánica medida como DQO fue observada a través del estudio tanto en el humedal experimental como en la fosa

control, existiendo una mayor reducción en el humedal experimental, durante los dos periodos de estudio ($p < 0,05$). De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron valores de remoción de 30 y 18%, y concentraciones en el efluente de 262 y 298 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para el humedal y control, respectivamente, durante el primer periodo; y de 31 y 16% de remoción y concentraciones en el efluente de 148 y 177 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ durante el segundo periodo. La reducción de DQO en el humedal con respecto al control era de esperarse, debido al suministro de oxígeno de las plantas, lo cual favorece el desarrollo de la comunidad microbiana responsable en gran parte del proceso de remoción de este parámetro [8]. Asimismo, también se ha descrito que las plantas emergentes de los humedales incrementan tal remoción, porque dan lugar a velocidades bajas del agua, lo que favorece el proceso de sedimentación de la materia orgánica en suspensión [9].

La remoción de la materia orgánica suspendida y medida como SST no presentó diferencia significativa ($p \geq 0,05$) entre el humedal experimental y la fosa control durante el primer periodo de estudio. En cambio, para el segundo periodo, la remoción entre ambos sistemas, sí presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) presentándose un mayor valor en el humedal experimental alcanzando un promedio de 52%.

Se presentó una correlación positiva entre la altura de *T. domingensis* y la remoción de DQO para el primer periodo de estudio, más no así para el segundo periodo. En la Figura 2, se observa que para el primer periodo, a partir de la tercera semana de muestreo, se evidencia cierta

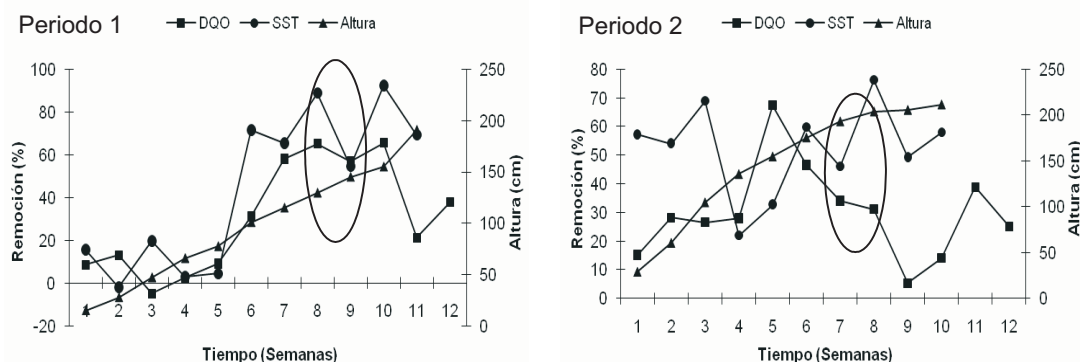


Figura 2. Variación de la remoción de DQO (%) y SST (%) en el Humedal en función del crecimiento de *Typha domingensis*.

proporcionalidad entre el crecimiento y la remoción de DQO, la cual se mantiene hasta la semana nueve. A partir, de la cual se aprecia un descenso de la remoción de materia orgánica; quizás debido a un aumento de la misma en el efluente, producto de la descomposición de restos de vegetación dentro del humedal, cuando dicha vegetación alcanza la madurez y descomposición de sus tejidos. En cambio, para el segundo periodo, se aprecia mucha variabilidad en los valores de remoción de DQO, reflejando una disminución de la misma que pudiera estar relacionada con la senescencia de la planta.

Con respecto a la remoción de SST, en la Figura 2 se observa que para el primer periodo, durante las primeras semanas de tratamiento, la remoción de los sólidos en suspensión fue baja, para luego incrementarse en las siguientes semanas. En cambio, para el segundo ciclo se acentúa la remoción, lo cual comprueba que la eliminación de la materia orgánica en suspensión y disuelta se ve afectada más por el aumento de la biomasa de la planta en el sistema que por el crecimiento (altura). En general el mecanismo que participa en la remoción de DQO en el sistema es la biodegradación; además, de que las plantas favorecen los mecanismos de filtración y sedimentación en el sistema, incrementando la remoción de la materia orgánica en suspensión [10].

Nutrientes

No se observó diferencia significativa ($p \geq 0,05$) en la remoción de $N-NH_4^+$ y NTK entre los dos sistemas durante el estudio manteniéndose la remoción de $N-NH_4^+$ y de NTK entre 45 y 55% respectivamente. Esto hace presumir que, en estos sistemas, los mecanismos de reacción que regulan la remoción de nitrógeno, sobre todo en el primer periodo de crecimiento, pudieran estar relacionados más con el proceso de nitrificación y desnitrificación que con la presencia de las plantas. La nitrificación, se ve favorecida por condiciones aeróbicas y pH entre 7,5 y 8,6, y la desnitrificación por condiciones anóxicas a pH entre 7-8. En el primer periodo, el pH se mantuvo en el rango 7,8-8,9 y bajas concentraciones de oxígeno disuelto, por lo que la velocidad de nitrificación se estima lenta, favoreciéndose más bien el mecanismo de desnitrificación, siendo la asimilación de nitrógeno por parte de la planta, un

mecanismo complementario de remoción. Sin embargo, durante el segundo periodo se presentó un ligero aumento en la remoción, quizás, a las bajas cargas que se manejan en el sistema y al aumento en la biomasa de la planta; por lo que hace presumir que hubo asimilación de nitrógeno por parte de la misma. En la fosa control, el afloramiento de microalgas pudo haber favorecido la remoción de las diferentes formas de nitrógeno ya que en trabajos previos realizados en este sistema donde se estudió la dinámica poblacional de microorganismos fotosintéticos presentes se encontraron valores de abundancia total de 210×10^4 , 19×10^4 y 145×10^4 $\text{cel} \times \text{mL}^{-1}$, para la entrada, el humedal experimental y la fosa control respectivamente, presentándose diferencias significativas entre los sistemas ($p < 0,001$), durante este estudio los géneros que predominaron fueron; para la cianobacterias *Synechocystis* sp. y *Oscillatoria* sp. y para las clorofitas *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp. [11]. Siendo estas dos últimas unas de las especies más relacionadas con el proceso de remoción de nutrientes en aguas residuales [12, 13]. Esta diferencia entre la abundancia en el humedal experimental y en la fosa control, es debida a que en los humedales construidos el desarrollo de algas se ve afectado por la sombra de las plantas emergentes sobre la superficie, que impide el paso de la luz y el normal desenvolvimiento de la actividad fotosintética [14]. La remoción de nitrógeno en humedales construidos aumenta en el tiempo, a medida que se va generando una mayor densidad de plantas en el humedal. Además, el rol primario de las plantas es respaldar los procesos de nitrificación y desnitrificación [15]. Con respecto a la relación entre el crecimiento de la planta y la remoción, en la Figura 3 se observa que durante las semanas tres y nueve del primer periodo, se presenta una correlación positiva entre ambas variables para los dos parámetros de estudio, más no así para el segundo periodo de estudio, donde se presenta un comportamiento irregular en la remoción.

Con relación al PT los resultados obtenidos en el estudio revelan una baja eficiencia de remoción por parte del humedal, observándose que para el primer periodo estudiado se presentó diferencia significativa entre la remoción en el humedal y la fosa control ($p < 0,05$), siendo más eficiente la fosa control en la remoción de este con-

taminante (humedal 3%, fosa control 19%). Para el segundo periodo, se evidencia un aumento en la remoción en el humedal experimental (humedal 14%, fosa control 15%), no presentándose diferencia significativa entre ambos sistemas ($p \geq 0.05$). En ambos periodos, el mayor rendimiento lo obtuvo la fosa control. Se estima que la remoción observada en ambos sistemas durante el primer periodo estudiado, ciclo de crecimiento fue a través de los procesos de adsorción en el suelo y sedimentación del material particulado.

El aumento en la remoción de PT entre un ciclo y otro en el humedal, revela el rol de la planta en la reducción de este contaminante; aunque estadísticamente, dicha remoción no estuvo correlacionada en ninguno de los periodos con el crecimiento de la planta (altura) (Figura 4). Esto hace pensar que, más bien tuvo que ver el aumento de la biomasa debido al aumento en la cobertura de la planta dentro del humedal, asu-

miéndose así que, efectivamente, no es significativa la asimilación de PT por parte de la planta, sino que más bien la misma favorece el proceso de filtración y sedimentación en el sistema.

Tiempo óptimo de poda

El tiempo óptimo de poda se considera aquel en el cual se debe realizar el correspondiente cosechado de la planta con el fin de evitar la reincorporación de nutrientes y materia orgánica al sistema por muerte de la misma, manteniendo así la eficiencia del humedal con relación a la remoción de estos contaminantes. La vegetación en los humedales crece y emerge, pero luego empieza a decaer y se va degradando, comunicando un aporte extra de materia orgánica al sistema, además de la recibida en el afluente. Por esta razón, el cosechado es una práctica de explotación objeto de controversia [16].

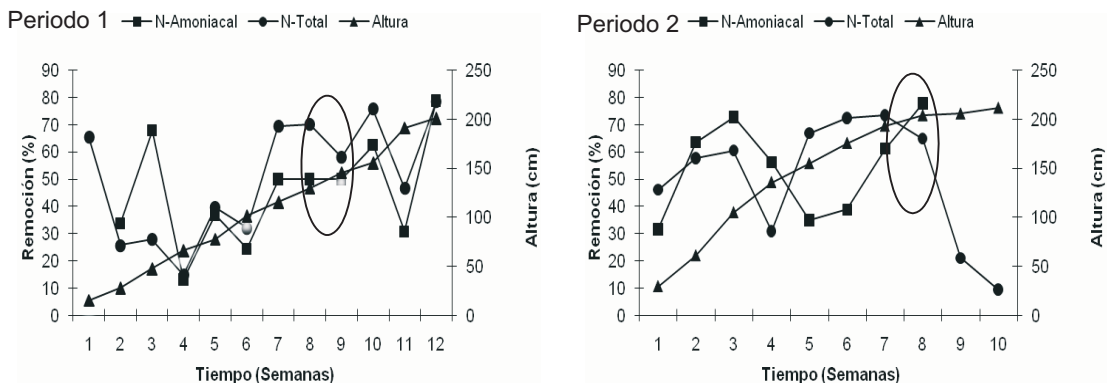


Figura 3. Variación de la remoción de N-Amóniacal (%) y N-Total (%) en el humedal en función del crecimiento de *Typha domingensis*.

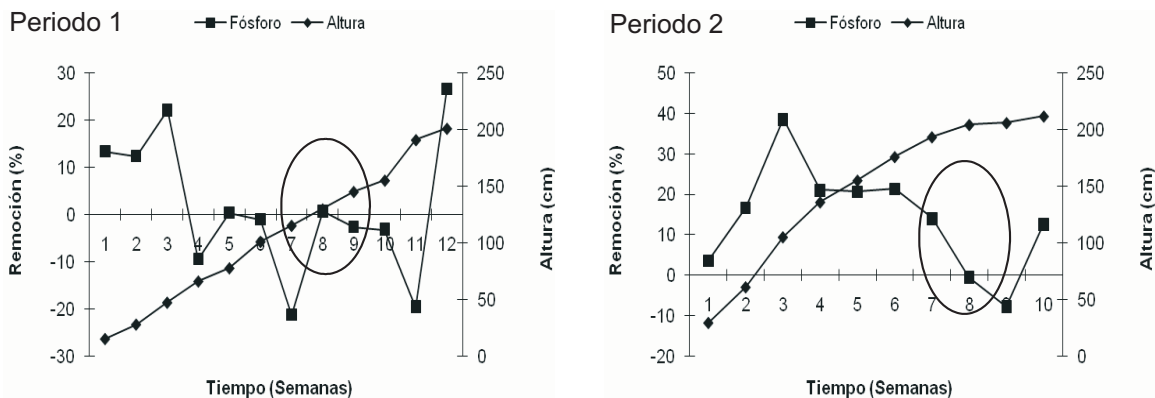


Figura 4. Variación de la remoción de Fósforo Total (%) en el Humedal en función del crecimiento de *Typha domingensis*.

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran las remociones de materia orgánica, nitrógeno y fósforo respectivamente, resaltando los puntos en los cuales se comienza a observar una disminución en la eficiencia de remoción de los contaminantes para ambos periodos de estudio.

Tanto la remoción de nutrientes como de materia orgánica, concuerdan para ambos periodos de estudio en una reducción en la eficiencia de remoción durante el lapso comprendido entre las semanas siete y nueve. Esto evidencia en el caso de los nutrientes, una reincorporación de los mismos. Estos resultados van a la par con el periodo más bajo de producción de pigmentos y carotenoides, lo que revela el grado de senescencia de la planta (Figura 5), por lo cual se hace recomendable la práctica de cosechado durante este lapso de tiempo para evitar dicha reincorporación y mantener así la eficiencia en el sistema.

Conclusiones

El humedal experimental resultó ser más eficiente que la fosa control en cuanto a la remoción de materia orgánica, indicando que la presencia de vegetación permite mayor desarrollo de una comunidad microbiana que facilita el proceso de degradación de la misma. En el caso del nitrógeno, la eficiencia en la remoción fue similar para ambos sistemas, viéndose favorecida la fosa control debido al afloramiento excesivo microalgas que ayuda a la remoción de dicho contaminante. Se corroboró la poca eficiencia de estos sistemas en la remoción de Fósforo Total siendo la adsorción y absorción por parte del sustrato el mecanismo que gobierna la remoción de este contaminante, sin descartar la precipitación química. La remoción de nutrientes y materia orgánica en el humedal experimental estuvo afectada mas por el aumento de la cobertura de la planta sobre la superficie del humedal que por el incremento en la altura de la misma. Se determinó que para mantener la eficiencia de funcionamiento del humedal experimental, se hace necesaria la realización de la poda, aproximadamente a las ocho semanas de su crecimiento, periodo en el cual la planta ha alcanzado su máximo desarrollo, evitando de esta manera la reincorporación de nutrientes y materia orgánica al sistema.

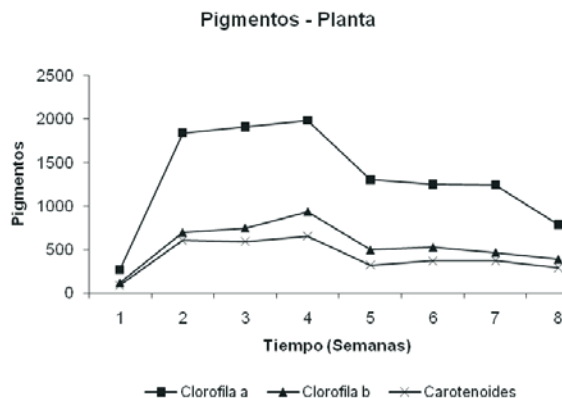


Figura 5. Producción de clorofila (a y b) y carotenoides de la *Typha dominguensis* durante el segundo ciclo de crecimiento.

Agradecimientos

Al Proyecto FONACIT 2000000786 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. Lahora, A. Depuración de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales: La Edar de Los Gallardos (Almería). Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A. GALASA (2002).
2. Jeffrey, S; Humphrey, G. New Spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural populations. *Biochem. Physiol Pflanz* 167: 191:194 (1975).
3. Strickland, J; Parson T.. A practical handbook of seawater analysis. Research Borrads of Canadá. Bulletin 167 2th edition Ottawa, 310 pp. (1972).
4. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environmental Federation (WPCF): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. American Public Health Association N.W. Washington D.C. (USA) pp 981 (2005).

5. Coleman, J.; Hench, K.; Garbutt, K.; Sexstone, A.; Bissonnette, G. y Skousen, J. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetland. Department of Biology, West Virginia University, Morgantown. 128: 283-295 (2001).
6. Hadad, H.; Maine, M., Bonetto, C. Macrophyte growth in a pilot-scale constructed wetland for industrial wastewater treatment. *Chemosphere* 63: 1744-1753 (2006).
7. Brix, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Sciences Technology*. 29: 71-78 (1994).
8. Zúñiga, J.; Chamy, R.; Schiapacasse, M.; Cerda, M. y Fuentes J. Tratamiento de aguas residuales urbanas mediante humedales. XV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS-Chile) (2003).
9. Lara, J. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Trabajo Final. Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña (1999).
10. Valderrama, L. T., Del Campos, C., Velandia, S., y Zapata, N. Evaluación del Efecto del Tratamiento con Plantas Acuáticas (*E. Crassipes*, *Lemna* sp. y *L. Laevigatum*) en la Remoción de Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas Residuales Domésticas). Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental. Universidad Javeriana. Colombia (2000).
11. Núñez, M. Uso de Humedales Construidos como pulimento para efluentes de lagunas de estabilización. Tesis Doctoral. Universidad del Zulia. Maracaibo Venezuela (2008).
12. Andrade, Ch. Tratamiento terciario de aguas residuales mediante el uso de la microalga *Scenedesmus* sp. En cultivo discontinuo. Tesis no publicada. Universidad del Zulia. Maracaibo Venezuela (2008).
13. Chacón, C., Andrade, Ch., Cárdenas, C., Araujo, I., Morales E. Uso de *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp. en la remoción de nitrógeno, fósforo y DQO de aguas residuales urbanas de Maracaibo, Venezuela. *Boletín Centro de Investigaciones Biológicas*. 38:2 94-108.
14. Toet, S., Herbach, I., Verhoeven J. Periphyton biomass and nutrient dynamics in a treatment wetland in a relation to substratum, hydraulic retention time and nutrient removal. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 139:3 361-392 (2003).
15. Shannon, R., Flite, O., y Hunter, M. Subsurface flow constructed wetlands performance at a Pennsylvania campground and conference center. 29: 2029-2036 (2000).
16. Álvarez, J. Bécares, E. El Papel de La Vegetación en Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto del Medio Ambiente. Universidad de León. España. (2005).

Recibido el 16 de Febrero de 2009

En forma revisada el 31 de Mayo de 2010