

Remoción de materia orgánica y nutrientes utilizando dos especies de plantas emergentes

Marisel Núñez^{1*}, Kiamelis Dubuc², Juan Pablo Paz², Luisa Saules³, Alberto Trujillo³,
Carmen Cárdenas³ y Ever Morales⁴

¹Prog. Ing. Manten. Mec, UNERMB, Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela.

²Escuela de Ingeniería Química, LUZ, Maracaibo, Venezuela. ³Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, LUZ, Maracaibo, Venezuela. ⁴Dpto. de Biología, Facultad de Ciencias, LUZ, Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 21-02-06 Aceptado: 29-06-06

Resumen

El tratamiento de aguas residuales a través de sistemas con plantas acuáticas emergentes ha sido poco estudiado en la región zuliana, por lo que se desconoce el potencial de las plantas emergentes autóctonas en el proceso de pulimento de aguas residuales que se realiza en este tipo de sistema. Este trabajo se centró en determinar la capacidad que dos plantas emergentes comunes de las áreas húmedas de la zona, *Typha dominguensis* Pers. (enea) y *Paspalum virgatum* L. (paja cabeza), tienen en la remoción de materia orgánica y nutrientes del efluente de las lagunas de estabilización del Centro de Investigación del Agua (CIA), de la Universidad del Zulia (LUZ), en Maracaibo, Venezuela. El sistema experimental, a través del cual se daba tratamiento a los efluentes de las lagunas de estabilización del CIA, estuvo compuesto por ocho envases circulares de 0,04 m³, distribuidos de la siguiente manera: tres para el tratamiento con *Typha*, tres con *Paspalum* y dos envases sin plantar que sirvieron como controles. Se tomaron muestras de la entrada y de la salida de los ocho envases dos veces a la semana durante dos meses, con un tiempo de residencia de 48 horas. Los valores fueron analizados a través de un modelo ANOVA de dos vías, siendo altamente favorables para el tratamiento con *Typha dominguensis*, obteniéndose medias de remoción de 60,6±20,7% para SST, 68,7±12,1% para DBO, 29,5±18,4% para DQO, 53,6±29,9% para NTK y 9,0±13,3% para P_T. Para *Paspalum virgatum* se obtuvo medias de 5,9±33,6% para SST, 10,0±26,8% para DBO, 9,6±17,5% para P_T, 31,5±25,2% para NTK, para la DQO no hubo remoción. En el caso del tratamiento control, sólo hubo remoción de 24,3±13,8% para P_T y 10,7±23,8 para NTK. Los resultados demostraron que *Typha dominguensis* fue más efectiva en la remoción de materia orgánica y NTK de las aguas residuales efluentes de las lagunas de estabilización del CIA, bajo las condiciones ambientales del bioensayo.

Palabras clave: Efluente lagunas; humedales construidos; plantas emergentes.

* Autor para la correspondencia. E-mail: alrimar@cantv.net

Removal of organic matter and nutrients by employing of two emergent plant species

Abstract

The wastewater treatment through emergent aquatic plant systems in the zulian region, hasn't been studied enough, that is why the potential of autochthonous emergent plants in the polishing wastewater is unknown. The aim of this study focused in the comparison of the potential that two typical macrophyte plants, the *Typha dominguensis* Pers. (enea) and *Paspalum virgatum* L. (paja cabeza) both presented in the wet area of the region, have in the removal of organic matter and nutrients from stabilization pond effluents of Centro de Investigación del Agua (CIA) of Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. The experimental system consisted of circular containers of 0,04 m³ each one, three of them with each of the plant mentioned above, and two without plants for a total of eight containers in order to treat the stabilization pond effluents of CIA. Inflow and outflow samples were analyzed during two months, with 48 hours of residence time. The results were analyzed by two way ANOVA model, being highly favorable for *Typha dominguensis* treatment, reaching removal means of: 60.64±20.68% for TSS, 70% for BOD, 29.47±18.39% COD, 53.57±29.85% for TKN and 9.01±13.34% for phosphorus. For *Paspalum virgatum* treatment the removal means results were 5.94±33.63% for TSS, 10.04±26.81% for BOD, 9.59±17.49% for phosphorus, 31.49±25.17% for TKN and for COD there wasn't any removal. For control treatment there was only a removal of 24.31±13.84% for phosphorus and 10.70±23.82% for TKN. The results showed that the *Typha dominguensis* was the most effective for organic material and nutrients removal from pond stabilization effluents of CIA, under environmental conditions of biotest.

Key words: Constructed wetlands; effluent ponds; emergent plants.

Introducción

Existen diferentes tipos de tratamientos para las aguas residuales, los cuales pueden ser físicos, químicos, biológicos o una combinación de estos. Las lagunas de estabilización constituyen un tratamiento biológico de mucha aceptación a nivel mundial debido a su efectividad en la reducción de materia orgánica y coliformes (1), además de los mínimos requerimientos en cuanto a su operación y mantenimiento (2). Sin embargo, el efluente puede presentar elevadas concentraciones de algas y sólidos, lo cual se convierte en la mayor desventaja de este tipo de tratamiento (1-5).

Los sistemas de tratamiento biológico incluyen a los humedales construidos, los cuales se caracterizan por la presencia permanente de agua, suelos saturados y vegetación adaptada a

tales condiciones (1), donde los procesos biológicos, físicos y químicos que en él se desarrollan le confieren un elevado potencial depurador (6, 7), por lo cual han sido utilizados para dar tratamiento a efluentes primarios y para el pulimento de efluentes secundarios o terciarios (8).

Los conocimientos y experiencia con humedales construidos, los procesos depuradores que en ellos se cumplen, así como los criterios de diseño y operación son escasos y poco difundidos en el país. Por tal motivo, es conveniente realizar estudios a escala de laboratorio y/o piloto que permitan conocer el comportamiento de los mismos en nuestro ambiente. Uno de los aspectos más importantes a estudiar en los humedales construidos es la eficacia de las plantas emergentes utilizadas en estos sistemas para el tratamiento de las aguas residuales (6). Las plantas emergentes cumplen importantes funciones en el humedal ya que sirven

para estabilizar el sustrato, modificar el flujo del agua, incrementar la actividad microbiana proporcionando sitios para su crecimiento, mejorar la estética del humedal, absorber y almacenar nutrientes, entre otras actividades (9, 10).

El Centro de Investigación del Agua (CIA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia (LUZ), ha venido realizando distintos estudios con el objetivo de encontrar métodos efectivos que permitan mejorar la calidad del efluente de las lagunas de estabilización ubicadas en ese Centro, para lo cual se consideró el uso de humedales construidos como tratamiento avanzado.

El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de las plantas macrofitas emergentes *Typha dominguensis* (enea) y *Paspalum virgatum* (paja cabezona) en la remoción de materia orgánica y nutrientes del efluente de las lagunas de estabilización del CIA, utilizando para ello un sistema de tratamiento a escala de laboratorio con las plantas emergentes mencionadas, a través del cual se trató de imitar a los humedales construidos.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó durante los meses de marzo, abril y mayo del año 2004, en el CIA, donde se ubica un sistema piloto de lagunas de estabilización que trata 1,296 m³/d de aguas residuales domésticas provenientes del colector "C" de la ciudad de Maracaibo, Venezuela.

El sistema experimental se ubicó en un área próxima a las lagunas de estabilización, bajo un techo de material plástico transparente que lo protegía de la lluvia. El sistema de tratamiento con plantas emergentes a escala de laboratorio, estaba conformado por 8 envases circulares de plástico, de 0,43 m de diámetro y 0,30 m de altura, con una capacidad de 0,04 m³. El material de soporte utilizado para las plantas y/o microorganismos fue arena proveniente de la planicie de Maracaibo, área donde está ubicado el CIA, clasificada como *Typic Haplargids* (11). La caracterización realizada a este material, previo inicio de la experimentación, presentó los siguientes resultados: pH 6,23, contenido de materia orgánica

0,24%, fósforo 0,68 mg/kg y nitrógeno 256 mg/kg. Estas características coinciden con lo señalado por Jiménez *et al* (11), al describir el mismo como arena con reacción ligeramente ácida, color amarillento, bajo contenido de materia orgánica y baja fertilidad natural. La cantidad de material de soporte en cada uno de los envases fue de 0,01 m³, quedando el resto del volumen disponible para el agua a tratar. En el estudio se utilizaron aguas efluentes de las lagunas de estabilización del CIA. El riego de los envases se realizó por carga, en forma manual, con un tiempo de residencia de 48 horas. Este valor corresponde al tiempo de residencia de diseño de un humedal construido a escala piloto que funcionará en el CIA y que será plantado con la especie que resultó más favorable para la remoción de materia orgánica y nutriente en este estudio. El volumen de agua residual empleado en cada carga para cada réplica de los distintos tratamientos fue de 0,020 m³, lo que permitió que la misma se mantuviera sobre la superficie del material de soporte, como corresponde a un humedal de flujo superficial.

Los 8 envases se agruparon en tres tratamientos distribuidos de la siguiente manera: tres plantados con *Typha dominguensis* Pers. (tratamiento *Typha*), tres con *Paspalum virgatum* L. (tratamiento *Paspalum*) y dos envases que sirvieron como control, los cuales no tenían plantas. En cada uno de los envases plantados se colocaron cinco individuos jóvenes de la especie respectiva, los cuales fueron podados a una altura de 0,2 m. Las plantas fueron sembradas dos meses antes del inicio del muestreo, tiempo durante el cual éstas alcanzaron su desarrollo y la estabilización del medio.

Las plantas utilizadas en la investigación fueron seleccionadas a partir de los resultados de un ensayo previo con cuatro especies de plantas emergentes autóctonas de la zona (12), las cuales fueron sembradas en suelos permanentemente inundados con aguas residuales efluentes del sistema de tratamiento del CIA, cuyo objetivo fue determinar cuales especies se adaptaban mejor a esa condición, siendo las especies *Typha dominguensis* y *Paspalum virgatum* las que alcanzaron mejor desarrollo y mayor cantidad de individuos.

Las muestras del agua residual se recolectaban dos veces por semana durante el tiempo que duró el ensayo. Éstas se tomaban del agua residual de entrada a los envases y de la salida de cada uno de ellos, luego de lo cual la totalidad del líquido restante tratado en los mismos era desechado para colocar el volumen de la nueva carga. Este procedimiento de descarga y carga del agua residual se ejecutaba cada 48 horas, independientemente de la realización del muestreo. La toma de la muestra de salida y descarga de los envases se realizaba a través de una válvula colocada en la pared de cada uno de ellos, a 0,15 m del fondo de los mismos. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del CIA. Se determinaron los parámetros sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y fósforo total (P_T); el pH se midió en sitio. En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la misma se determinó durante cuatro semanas a una sola de las dos muestras que se tomaban para el análisis físico-químico. Los métodos utilizados para la determinación de cada parámetro son los descritos en el Standard Methods, Edición 20 (13).

El análisis de los valores obtenidos se realizó a través del programa estadístico SAS, versión 6.1. La diferencia significativa ($\alpha=0,05$) entre las medias de remoción de los tratamientos fue determinada a través de un ANOVA de dos vías,

realizando la interacción entre tratamiento y tiempo (semanas), T x S. La comparación de las medias con diferencia significativa entre los tratamientos fue realizada a través de la prueba de Tukey.

Análisis y Discusión de Resultados

La Tabla 1 muestra las medias de entrada, salida y de remoción alcanzadas para los diferentes parámetros analizados en cada tratamiento estudiado. La media del porcentaje de remoción para SST, DBO, DQO y NTK fue mayor en el tratamiento *Typha*, cuando se compara con los valores obtenidos por el tratamiento con *Paspalum* y por el tratamiento control (Tabla 1). En el caso del P_T , la media más alta de remoción se obtuvo en el tratamiento control, seguido por el de *Paspalum* (Tabla 1). El análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$) para todos los parámetros analizados. En cuanto a la remoción de los parámetros SST y DQO el efecto de la interacción tratamiento-tiempo (semanas), TxS, fue significativo ($p < 0,0001$), así como para P_T , mientras que para la DBO y para el NTK no fue significativa la interacción tratamiento y tiempo (Tabla 2).

La Figura 1 muestra que el tratamiento *Typha* obtuvo la mayor remoción de SST y cómo el sistema aumentó su capacidad de remoción

Tabla 1

Valores de la media para la entrada, salida y remoción (%), alcanzados para pH, SST (mg/L), DBO (mg/L), DQO (mg/L), NTK (mg/L) y P_T (mg/L) para los distintos tratamientos.

Parametro Analizado	<i>Typha dominguensis</i>			<i>Paspalum virgatum</i>		Control	
	Entrada	Salida	Remocion	Salida	Remocion	Salida	Remoción
pH	7,7±0,7	7,0±0,4	-	7,6±0,5	-	9,2±0,4	-
SST	140,5±45,9	60,7±49,5	60,6±20,7 ^a	126,6±40,5	5,9±33,6 ^b	177,1±24,9	-
DBO	49,9±5,0	15,6±6,1	68,7±12,1 ^a	44,4±12,0	10,0±26,8 ^b	56,8±13,7	-
DQO	268,2±30,8	187,8±49,1	29,5±18,4 ^a	270,9±51,5	-	349,2±64,4	-
NTK	13,4±2,4	6,4±4,5	53,6±29,9 ^a	9,2±3,7	31,5±25,2 ^b	11,9±3,4	10,7±23,8 ^c
P_{TOTAL}	5,3±0,6	4,9±0,9	9,0±13,3 ^b	4,8±1,1	9,6±17,5 ^b	4,1±1,0	24,3±13,8 ^a

a, b, c : Prueba de Tukey. Medias con distinta letra en la misma fila difieren significativamente ($p < 0,05$).

Tabla 2
Análisis de varianza de los porcentajes de remoción para los distintos parámetros durante el experimento.

Fuente de variación	Variación de pH	Remoción de SST	Remoción de DBO	Remoción de DQO	Remoción de NTK	Remoción de P _{TOTAL}
Tratamiento (T)	$F=386,00^{**}$	$F=122,91^*$	$F=61,50^{**}$	$F=157,92^{**}$	$F=48,80^{**}$	$F=17,95^{**}$
Semana (S)	$F=53,7^{**}$	$F=8,24^{**}$	$F=4,36^*$	$F=13,03^{**}$	$F=21,36^{**}$	$F=6,22^{**}$
T * S	$F=6,53^{**}$	$F=5,63^{**}$	$F=1,61^{(NS)}$	$F=8,58^{**}$	$F=1,11^{(NS)}$	$F=2,58^*$

(NS) : No significativo. $p > 0,05$. * : Significativo. $p < 0,05$. ** : Altamente significativo. $p < 0,0001$.

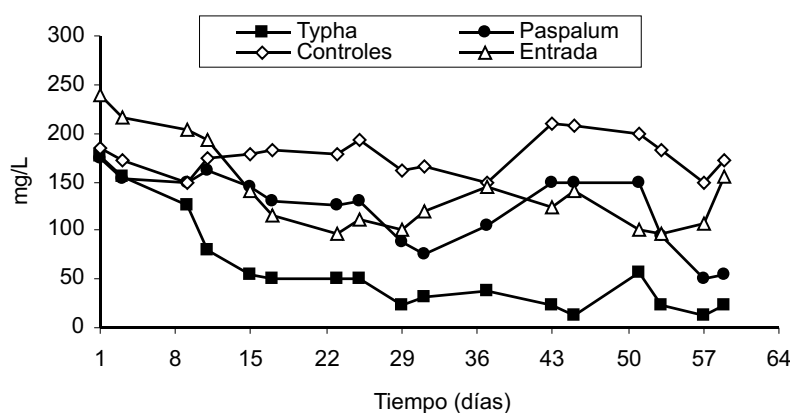


Figura 1. Comportamiento de los SST.

con el transcurso del tiempo. Una de las razones que incide sobre la capacidad de este tratamiento para remover SST es la característica de su sistema radical que se extiende sobre toda la superficie del material de soporte, liberando oxígeno en toda el área cubierta lo que favorece la degradación de la materia orgánica (14). El sistema radical de *Typha dominguensis* formado por raíces adventicias, se convierte en una red que provee superficie para el crecimiento bacteriano y para la filtración de los sólidos presentes en las aguas residuales en tratamiento, los cuales quedan atrapados en las mismas (1). Este proceso, al igual que la sedimentación del material particulado, pudo haber sido favorecido por el estado de reposo de las aguas en tratamiento. Contrario al tipo de raíces de la *Typha*, la *Paspalum* posee raíces que crecen verticalmente, adentrándose en el material de soporte, por lo que no proporciona

grandes áreas para la adhesión de los microorganismos responsables del tratamiento, ni evitaron que el material sedimentado se resuspendiera, por lo que el efecto de éstas sobre la remoción de SST habría sido reducido, observándose un comportamiento inestable durante todo el estudio, y donde en oportunidades el valor de entrada fue superado por el de salida, como se observa en la Figura 1. En el caso del control hubo aumento considerable de los SST, probablemente como consecuencia de la alteración del material particulado proveniente de las aguas residuales, acumulado en el fondo y pared de los envases, durante el proceso de descarga y carga de los mismos. En el caso de los tratamientos *Typha* y *Paspalum*, esta alteración era disminuida por el sistema radical que compacta y da firmeza al material de soporte y al sedimento sobre él depositado, evitando su fácil desintegración y el rompi-

miento de la película bacteriana. La media de remoción obtenida para el tratamiento *Typha* de $60,6 \pm 20,7\%$ (Tabla 1) se ubica próxima a la reportada por Coleman *et al.* (9), en cuyo estudio la remoción fue 70% para SST, para un grupo tres plantas utilizadas para tratamiento de aguas residuales domésticas, entre las que se encontraba la especie *Typha latifolia*.

El tratamiento *Typha* mostró ser el mejor removiendo DBO y DQO (Tabla 1). La remoción de la materia orgánica es debida primordialmente a la descomposición por parte de los microorganismos adheridos a hojas, tallos, restos vegetales y al medio de soporte y a los microorganismos suspendidos en la columna de agua del humedal

construido (1, 8, 10, 15). Este proceso fue favorecido por la morfología de las raíces de la *Typha dominguensis*, como se indicó anteriormente, que proporcionó gran cantidad de área para la formación de la película biológica en comparación con el tratamiento *Paspalum*. Las Figuras 2 y 3 muestran como el tratamiento con *Typha* logró remoción de DBO y DQO durante todo el período de estudio, contrario a lo ocurrido para el tratamiento *Paspalum* y el control, cuyos valores de salida superaron la mayor parte del tiempo de estudio a los valores de entrada de estos parámetros. El valor de remoción de DBO alcanzado por el tratamiento *Typha* de $68,7 \pm 12,1\%$ se aproxima al valor de 70% reportado por Coleman *et al.* (9). En el tratamiento *Paspalum* el comportamiento para estos

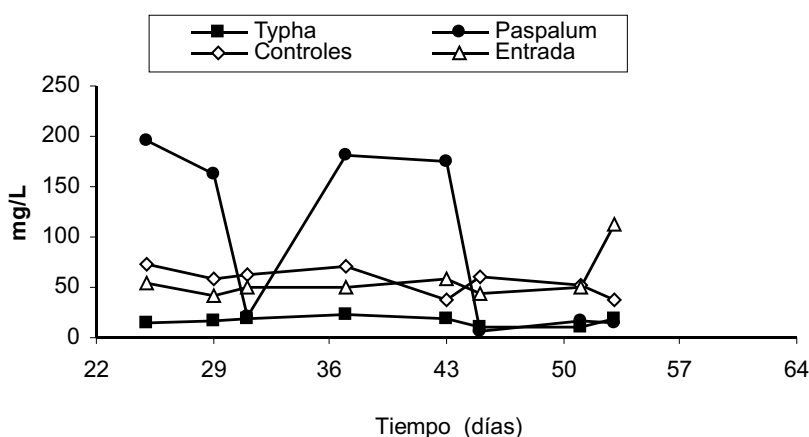


Figura 2. Comportamiento de la DBO.

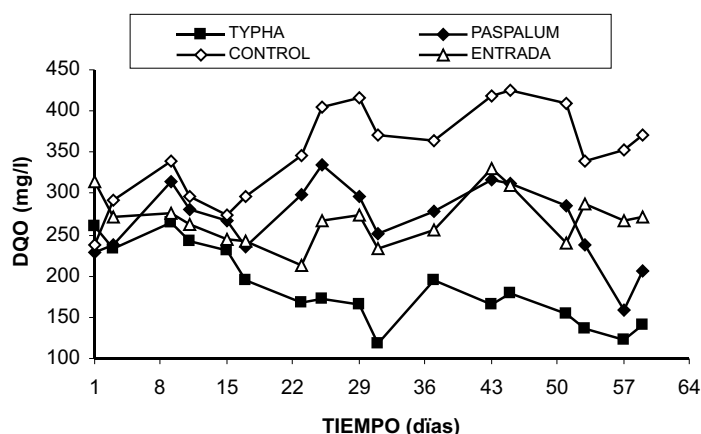


Figura 3. Comportamiento de la DQO.

dos parámetros fue inestable todo el tiempo, obteniendo una remoción media de $10,0 \pm 26,8\%$ para la DBO y el incremento de DQO. El tratamiento con *Paspalum* mostró un porcentaje de remoción de DBO bastante menor que en el caso de la *Typha* debido probablemente a las características del sistema radical que no habrían favorecido el proceso de remoción de la materia orgánica como se indicó con anterioridad. En el caso del control, el incremento de DBO y DQO a la salida con relación a los valores de entrada demuestran que la sola presencia de microorganismos no es suficiente para la depuración de las aguas residuales y que las plantas cumplen función importante en la remoción de materia orgánica en los humedales construidos (14, 15).

La Figura 4 muestra el comportamiento del NTK, se aprecian las salidas más bajas para el tratamiento *Typha*, seguidas por las del tratamiento *Paspalum* y por las correspondientes al control. La curva de este último muestra que hacia los días finales del estudio el valor de salida en oportunidades superó el valor de entrada y la disminución de la distancia entre las curvas correspondientes, lo que podría indicar la saturación del sistema con respecto al nitrógeno. Las medias de remoción alcanzadas fueron de $53,6 \pm 29,9$, $31,5 \pm 25,2$ y $10,7 \pm 23,8\%$ para los tratamientos con *Typha*, *Paspalum* y control respectivamente. Coleman *et al.* (9) reportó en su estudio un rango de 50 a 60% de remoción para NTK, ubicándose en este rango el valor alcanzado para

el tratamiento *Typha*. La remoción de NTK se produce básicamente por la actuación de bacterias degradadoras de los compuestos orgánicos nitrogenados, tales como urea, sedimentos algales, restos proteicos, etc. (16). La *Typha dominguensis* habría favorecido la remoción del NTK no solo por la extensa área para la formación de película bacteriana que proporcionó, sino también a través del desarrollo que esta especie alcanzó en número y tamaño, que habría ocasionado mayor absorción de nitrógeno que en el caso del tratamiento *Paspalum*, donde la remoción fue menor debido a que el área disponible para la formación de la película bacteriana era menor y a los requerimientos de este elemento por parte del desarrollo de las plantas que no se dió en la misma medida que la *Typha*. La *Typha dominguensis* alcanzó una media de 174,7 cm de altura y 14 inflorescencias por bandeja al final del estudio, mientras que la *Paspalum virgatum* llegó a 103,7 cm y 3 inflorescencias por bandeja.

Los suelos minerales son más favorables para la acumulación de nitrógeno y fósforo que los suelos orgánicos (17), por lo que se puede inferir que la remoción obtenida en los tratamientos con *Typha* y *Paspalum*, no fue solo el producto de la acción bacteriana y la absorción por las plantas, sino también propiciada por el suelo de tipo mineral empleado en el ensayo, como se discute más adelante. El NTK y el P_T fueron los parámetros que presentaron remoción en el caso del control, esto debido a la acción de las bacterias

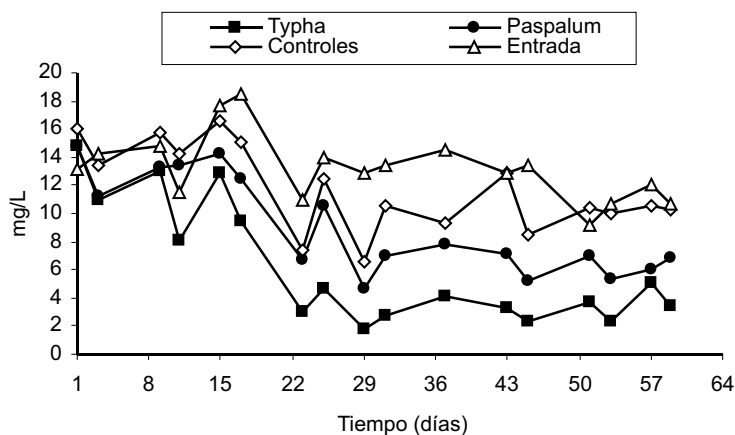


Figura 4. Comportamiento del NTK.

alojadas en el material de soporte y al contacto directo del agua con este material. En este tratamiento, la presencia de microalgas, evidenciada por el color verde de las aguas, habría cumplido importante papel en la remoción de nutrientes (15). En los tratamientos *Typha* y *Paspalum* la presencia de las microalgas se veía disminuida por la presencia de plantas, las cuales a través de su sombra favorecían el proceso de eliminación de las mismas; en esos casos, la asimilación de nutrientes por la parte de las microalgas sería mínima al compararla con la actividad de bacterias y la absorción por parte de las plantas.

El fósforo se distinguió del resto de los parámetros analizados por la remoción alcanzada en el caso del tratamiento control. Los valores de salida medidos para este tratamiento, durante todo el periodo de estudio, permanecieron por debajo de los valores de entrada, no así para los tratamientos *Typha* y *Paspalum* (Figura 5), donde el valor de entrada fue superado por el de salida en varias ocasiones. Los valores de las medias de remoción alcanzadas por los tratamientos con plantas no fueron altas y muy parecidas entre sí. Esto coincide con lo señalado por Lara (18), quien expuso que la remoción del fósforo en los sistemas de tratamiento donde se emplean plantas es baja, debido a la poca oportunidad de contacto entre el agua residual y el material de soporte, el cual es necesario para que ocurran los procesos de remoción del mismo.

Los procesos de adsorción y retención del fósforo en este tipo de sistema viene dada por el potencial redox, el pH, la cantidad de fósforo originalmente presente en el material de soporte y por la presencia de Fe, Al, Ca y Mg en el mismo (19, 20). Las condiciones ligeramente ácida y mineral del material de soporte utilizado (*Typic Haplargids*), comprobadas con el análisis realizado al material antes del inicio de la experimentación, habrían favorecido adsorción del fósforo a través de la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al, ya que la precipitación de fosfatos de calcio y magnesio predomina a pH mayor a 7 (7, 21). El control permitió el contacto directo material de soporte-agua, lo que habría favorecido que este haya sido el tratamiento con mayor remoción de P_T , seguido por el tratamiento *Paspalum* que por las características de raíces tuvo mayor contacto sustrato-agua que el tratamiento *Typha*, donde las raíces cubrían la mayor parte del material de soporte impidiendo el contacto con el agua. Además, la actividad fotosintética que se dio en el tratamiento control producto de la gran cantidad de microalgas presentes y el consecuente aumento del valor del pH en el agua, habría ocasionado también el incremento del fosfato en solución en la forma de HPO_4^{2-} , proporcionando las condiciones para la formación de fosfato de calcio desde el agua (22).

En el caso del pH, el análisis de varianza dio que existen diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2). El análisis de la interacción

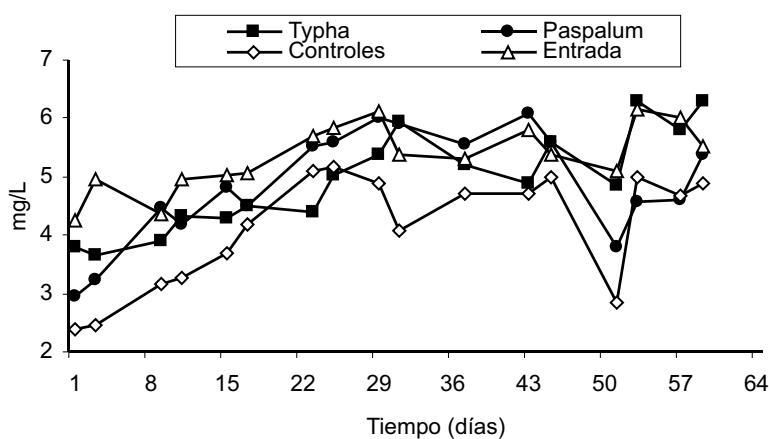


Figura 5. Comportamiento del P_T .

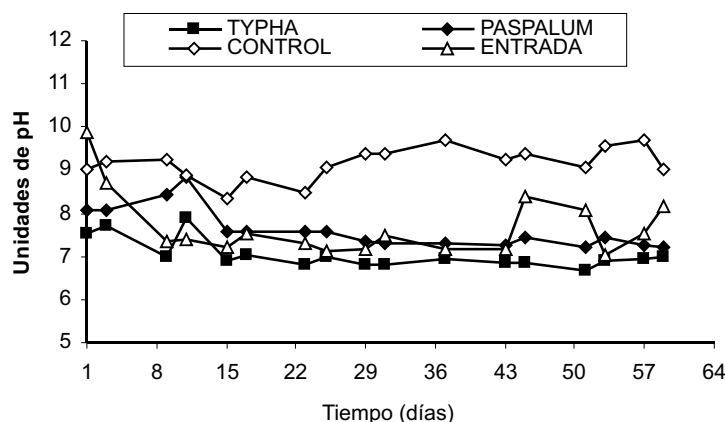


Figura 6. Comportamiento del pH.

TxS fue significativo ($p < 0,0001$). El pH obtuvo una tendencia marcada hacia la neutralidad para el tratamiento *Typha* (Tabla 1). Para el tratamiento *Paspalum* no se encontró una variación notable del valor del pH a la salida de las bandejas con relación al valor de entrada a las mismas. Para el control se encontró una variación marcada hacia la basicidad con una media de $9,2 \pm 0,4$ (Tabla 1). El comportamiento que permitió la obtención de un pH cercano al neutro en el caso de la *Typha* podría deberse a los exudados excretados por las raíces de esta macrofita emergente (9), que ayudaron a bajar el valor del pH de entrada hasta valor neutro. Esta tendencia al pH neutro coincide con lo establecido por Kadlec y Knight (1) quienes señalan que la concentración del ión hidrógeno en el efluente de los tratamientos con humedales, es típicamente cercana a la neutralidad. El tratamiento *Paspalum* demuestra ineficiencia para llevar a valor neutro el pH del efluente de las lagunas de estabilización; este fenómeno podría atribuirse a la morfología de la raíz de esta planta macrofita que tiende a profundizarse en el material de soporte, por lo que los exudados excretados por ellas no habrían ayudado a bajar el pH del agua de entrada de la manera como sucedió en el tratamiento *Typha*. El tratamiento control obtuvo una marcada tendencia alcalina que pudo ser consecuencia de la actividad fotosintética de las algas que, durante todo el estudio, estuvieron presentes en forma masiva en este tratamiento ante la ausencia de macrófitas que ayudarán a su elimina-

ción. Durante la actividad fotosintética, las algas consumen el carbón necesario de los iones bicarbonato, ocasionando un desequilibrio en los componentes de la alcalinidad con el consecuente predominio de carbonatos e hidróxidos y aumento de pH (22, 23).

Conclusiones

Los resultados obtenidos durante la ejecución de este trabajo demostraron mayor eficiencia en el tratamiento a escala de laboratorio de aguas residuales con plantas emergentes en comparación con sistemas no plantados, para los parámetros SST, DBO, DQO y NTK. La excepción fue el P_T , donde la mayor eficiencia se obtuvo en el control sin plantar. El contacto material de soporte-agua es de gran importancia para la remoción de fósforo. En humedales construidos donde se requiera mayor eficiencia de remoción de este parámetro, se necesita material de soporte con características minerales y áreas sin presencia de plantas. El estudio demostró diferencias altamente significativas entre las medias obtenidas para los diferentes parámetros estudiados y entre las medias de remoción de los mismos. Bajo las condiciones ambientales del bioensayo, la especie *Typha dominguensis* proporcionó mejores resultados en remoción, desarrollo y resistencia que la *Paspalum virgatum*. Se sugiere la continuación de estudios de la misma naturaleza con otras especies de plantas autóctonas en monocultivos y cultivos mixtos.

Referencias Bibliográficas

1. KADLEC R., KNIGHT R. **Treatment wetlands**. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida (USA), pp. 324, 1996.
2. MELCER H., EVANS B., NUTT S., HO A. **Wat Sci Tech** 31(12): 379-387.
3. MIDDLEBROOKS E.J. Upgrading Pond Effluents: **An Overview, 2nd IAWQ International Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds and the Reuse of Ponds Effluents**. Berkeley, USA, pp. 353-368, 1993.
4. SAIDAM M.Y., RAMADAN S.A., BUTLER D. **Wat Sci Tech** 31(12): 369-378, 1995.
5. SWANSOM G., WILLIAMSON K. **Rock filters for removal of algae from lagoon effluents**. EPA-600/2-80-038. USA, 1980.
6. GERSBERG R.M., ELKINS B.V., LYON S.R., GOLDMAN C.R. **Wat Res** 20(3): 363 - 368, 1986.
7. PRADO M. **Visión Tecnológica** 5(1): 59-70, 1995.
8. IWA. Constructed wetlands for pollution control. Processes, performance, design and operation. IWA Specialist Group on use of Macrophytes in **Water Pollution Control**. IWA Publishing, London (UK), pp. 27-28, 2000.
9. COLEMAN J., HENCH K., GARBUTT K., SEXSTONE A., BISSONNETTE G., SKOUSEN J. **Water Air and Soil Pollution** 128:283-295, 2001.
10. GORDON E. Humedales naturales y construidos. Curso Corto. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. CIDIAT, ULA Mérida. pp. 24, 2003.
11. JIMÉNEZ L., NOGUERA W., PETERS W., MORENO J.Y LARREAL M. **Rev Fac Agron LUZ** 12:47-57, 1995.
12. NÚÑEZ M., MORALES E. Resultados no publicados. 2003.
13. APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20 Edition, 1999.
14. BRIXH. **Wat Sci Tech** 35(5):, 11-17, 1997.
15. VALDERRAMA L., DEL CAMPO C., RODRIGUEZ C., BASHAN L. de, BASHAN Y. **Wat Res** 36: 4185-4192, 2002.
16. SEOÁNEZ C. M. **Aguas residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. Fundamentos científicos**. Tecnologías. Diseño. Colección Ingeniería del Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid (España), pp. 325, 1999.
17. PÉREZ O.M., SÁNCHEZ C.S., ROJO C. Función Depuradora de los Humedales II: **Una Revisión Bibliográfica sobre el Papel del Sedimento**. SEHUMED. Humedales Mediterráneos. Valencia (España), pp. 123-130, 2001.
18. LARA J. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. (Trabajo final, Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental), Instituto Catalán de Tecnología, Universidad Politécnica de Cataluña (España), pp. 42, 1999.
19. VIMAZAL J. Removal of phosphorus in constructed wetlands with horizontal subsurface flow in the Czech Republic. In: **Nutrient cycling and retention in natural and constructed wetlands**. Edited by Jan Vimazal. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. pp. 73-83, 1999.
20. COMEAU Y., BRISSON J., RÉVILLE J., FORGET C., DRIZO A. **Wat Sci Tech** 44(11-12): 55-60, 2000.
21. MITSCH W., GOSSELINK J. **Wetlands**. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York (USA). pp. 920, 2000.
22. PRYSTAY W., LO V. **J Environ Sci Health** 36(3): 341-353, 2001.
23. KYAMBADDE J., KANSIIME F., DALHAMMAR G. **Water Air and Soil Pollution** 165: 37-59, 2005.