

IV-Núñez-Venezuela-1

REMOCIÓN DE NITRÓGENO EN AGUAS RESIDUALES A TRAVÉS DE LAS PLANTAS *Typha dominguensis* Y *Lemna sp.*

Marisel Núñez⁽¹⁾

Ingeniera Civil, Universidad del Zulia (LUZ), 1988. Maestría en Ingeniería Ambiental (LUZ), 2000. Doctorando Ingeniería Ambiental LUZ. Profesor Asociado del Programa de Ingeniería de Mantenimiento Mecánico de Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt (UNERMB), Cabimas, Estado Zulia, Venezuela.

Carmen H. Cárdenas de Flores

Ingeniera Química. Universidad del Zulia (LUZ), Maracaibo, Venezuela.

Yoleivis Ramírez Acurero

Licenciada en Química. Universidad del Zulia (LUZ), Maracaibo, Venezuela.

Sandra Rincón

Licenciada en Química. Universidad del Zulia (LUZ), Maracaibo, Venezuela.

Luisa Saules

Ingeniera Química. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Ever Morales

Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Dirección (1): Av. 31, Nro. 285, Sector 1ro. de Mayo. Cabimas, Estado Zulia, Venezuela. Tel.: (+58) 264 3712851. e-Mail: alrimar@cantv.net.

RESUMEN

La necesidad de eliminar los nutrientes de las aguas residuales para evitar daños a los cuerpos receptores, ha llevado a la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan la eliminación de nutrientes y cuyas actividades de construcción, operación y mantenimiento sean cónsonas con el ambiente que les rodea. Los humedales construidos pertenecen a estas tecnologías, siendo la vegetación uno de sus elementos componentes básicos y cuya función en la remoción de nutrientes ha sido cuestionada por algunos investigadores, ya que la acción principal recaería en los procesos de nitrificación/desnitrificación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la remoción de nitrógeno a través de sistemas de humedales construidos a pequeña escala, empleando las plantas autóctonas *Typha dominguensis* y *Lemna sp.* Se midieron semanalmente durante 4 meses los parámetros NTK, N-NH₃, N-NO₂, (N-NO₃), DQO y pH, en cinco diferentes tratamientos preparados por triplicado: agua residual (AR), agua residual más material de soporte (AS), agua residual más material de soporte más la planta flotante *Lemna sp* (L), agua residual más material de soporte más la planta emergente *Typha dominguensis* (T) y agua residual más material de soporte más *Typha dominguensis* más *Lemna sp* (LT). Los resultados de remoción obtenidos favorecieron a los tratamientos vegetados T y LT para todos los parámetros estudiados (NTK, N-NH₃, N-NO₂, N-NO₃ y DQO), mientras que en los sistemas no plantados AR y AS hubo, igualmente, remoción para todos los parámetros en menor grado al alcanzado por los tratamientos L y TL. Problemas de competencia entre microalgas y la planta *Lemna sp* no permitieron el desarrollo de ésta última en la forma esperada, lo que ocasionó que el tratamiento L alcanzara los menores porcentajes de remoción para NTK y N-NH₃, mostrando incremento en el caso del N-NO₂. Los resultados demostraron la función que ejerce la planta *Typha dominguensis* en los procesos de remoción de nitrógeno y materia orgánica que ocurren dentro de los humedales, así como también se evidenció la importante actividad que bacterias y microalgas realizan en la remoción de nutrientes de las aguas residuales.

PALABRAS CLAVE: nitrógeno, remoción, aguas residuales, plantas acuáticas, humedales construidos.

REMOCIÓN DE NITRÓGENO EN AGUAS RESIDUALES A TRAVÉS DE LAS PLANTAS *Typha dominguensis* Y *Lemna sp.*

INTRODUCCIÓN

Una de las consecuencias que pueden sufrir los cuerpos receptores de las aguas residuales, producto de la presencia de nutrientes en las descargas a las cuales son sometidos, es la eutrofización, por lo que se ha hecho necesaria la búsqueda de tratamientos efectivos que disminuyan la presencia de estos elementos de las aguas residuales. Estos tratamientos no solo deben ser eficientes y económicos, sino además desarrollarse en consonancia con el ambiente. Dentro de estas posibilidades se ubican los humedales construidos, los cuales han sido exitosos mundialmente para tratar diversos tipos de aguas residuales.

En la función depuradora que ejercen los humedales construidos, la importancia que las plantas ejercen sobre la remoción de nutrientes ha sido cuestionada (Brix, 1997), ya que la función principal recae en los procesos físicos y microbianos (Gersberg *et al*, 1986; Reed *et al*, 1988). Para otros autores como Koottatep y Polprasert (1997), la absorción de nutrientes a través de las plantas es el principal mecanismo de remoción de los mismos. Independientemente del papel que las plantas cumplen en la remoción de nutrientes en los humedales construidos, está demostrado que las plantas emergentes juegan un papel importante en los procesos depurativos que se dan en los humedales construidos a través de la oxigenación de la rizósfera, del área que proporciona a través de raíces, hojas y tallos para la formación de la capa microbiana y a través de la absorción de nutrientes (Brix, 1997; Reed *et al*, 1988; Kadlec y Knight, 1996).

Mientras que la eficiencia de los humedales construidos en la remoción de DBO, DQO, SST y organismos fecales es alta, la remoción de nitrógeno en muchos sistemas de humedales es deficiente, debido principalmente a la ausencia de suficiente oxígeno que satisfaga las necesidades de los diferentes procesos para la transformación del mismo (Green *et al*, 1997).

La experiencia con humedales construidos en Venezuela es escasa, por lo que se hace necesaria la investigación del comportamiento de este tipo de sistemas bajo sus condiciones climáticas y la efectividad de las plantas autóctonas en la remoción de nitrógeno.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de la planta emergente *Typha dominguensis* y de la planta flotante *Lemna sp.*, las cuales son comunes en los ambientes acuáticos venezolanos, en la remoción del nitrógeno de los efluentes de las lagunas de estabilización del Centro de Investigación del Agua (CIA) de la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, utilizando para ello humedales construidos a pequeña escala.

METODOLOGÍA

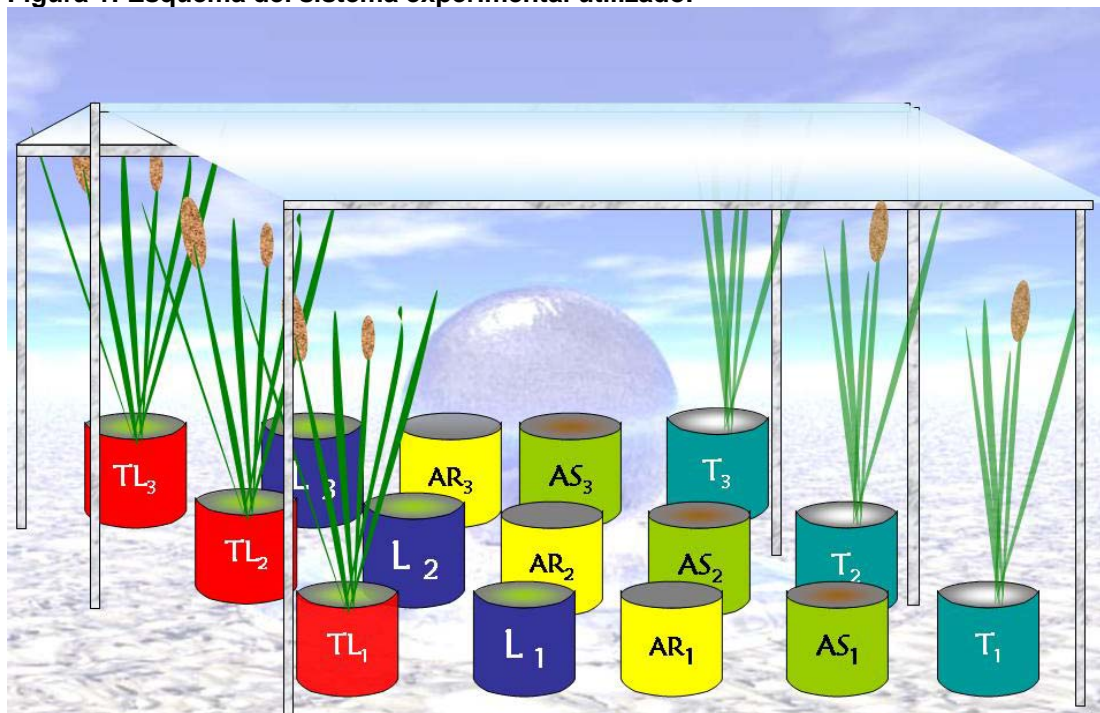
La investigación se llevó a cabo durante 4 meses en el CIA de la Universidad del Zulia (LUZ), donde funciona un sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales de uno de los colectores del sistema de recolección de aguas servidas de la ciudad de Maracaibo, desde donde se tomó el efluente para ser tratado en el sistema experimental compuesto de 5 tratamientos, según el diseño que se presenta en el Gráfico 1 y Figura 1.

Cada tratamiento se preparó por triplicado, en envases plásticos, con un diámetro de 0,50 m, altura de 0,30 m y una capacidad volumétrica de 0,048 m³. Las bandejas, 15 en total, fueron colocadas en un área adyacente a las lagunas de estabilización, protegidas de la lluvia por un techo de plástico transparente.

Gráfico 1: Descripción del sistema experimental estudiado.

TRATAMIENTO	COMPONENTES
AR	Agua residual
AS	Agua residual + material de soporte
L	Agua residual + material de soporte + <i>Lemna sp.</i>
T	Agua residual + material de soporte + <i>Typha domingensis</i>
TL	Agua residual + material de soporte + <i>Lemna sp</i> + <i>Typha domingensis</i>

Figura 1: Esquema del sistema experimental utilizado.



El material de soporte de los tratamientos AS, L, T y TL fue arena proveniente de la Planicie de Maracaibo, clasificada como *Typic Haplargids*. Esta arena es caracterizada por presentar bajo contenido orgánico y baja fertilidad. La cantidad de material de soporte en cada envase fue de $0,01\text{m}^3$. La colocación del agua en las bandejas se realizó por carga, en forma manual, cada 48 horas, independientemente de la toma de muestras. Las muestras se tomaban del agua residual de entrada a las bandejas y de la salida de cada una de ellas, con una frecuencia de 2 o 3 veces por semana, luego de lo cual el resto del líquido de las bandejas era desechado para colocar el volumen de la nueva carga. El volumen de agua empleado en cada ocasión fue de $0,02\text{ m}^3$ para cada réplica de los distintos tratamientos. Las muestras fueron analizadas de inmediato en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del CIA. Se determinaron los parámetros nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitrógeno amoniacal (N-NH_3), nitrito (N-NO_2), nitrato (N-NO_3), demanda química de oxígeno (DQO) y pH (medido en sitio). Los métodos utilizados para la determinación de cada parámetro son los descritos en el Standard Methods for examination of water and wastewater, Edición 20, 1999.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Gráfico 2 muestra los valores promedio encontrados para la entrada y la salida de cada uno de los parámetros estudiados, y además de los resultados de la comparación de medias a través de la prueba

de Tukey. Se aprecia como los valores de entrada del NTK, N-NH₃ y DQO disminuyeron para todos los tratamientos, el N-NO₂ disminuyó solo en los casos de AR y TL, el N-NO₃ disminuyó en los tratamientos L, T y TL, mientras que el pH aumentó en los casos de AR y AS.

Gráfico 2: Valores promedio de entrada y salida de los parámetros estudiados para los distintos tratamientos y resultados comparación de medias de a través de la prueba de Tukey.

TRATAMIENTO	NTK (mg/l)	N-NH ₃ (mg/l)	N-NO ₂ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	DQO (mg/l)	pH (unidades)
ENTRADA	14,83±3,49	10,54±3,93	0,031±0,049	0,050±0,03	252,2±40,0	7,45±0,32
AR	4,20±2,38 ^{b,c}	1,25±0,72 ^{a,b}	0,017±0,038 ^a	0,091±0,11 ^a	217,9±69,6 ^d	8,68±0,21 ^d
AS	4,61±2,39 ^c	1,64±1,13 ^c	0,062±0,135 ^b	0,063±0,048 ^b	187,5±54,5 ^{c,d}	7,66±0,24 ^c
L	6,30±3,13 ^d	2,92±1,74 ^d	0,067±0,087 ^b	0,048±0,02 ^{a,b}	178,6±62,8 ^{b,c}	7,22±0,43 ^b
T	2,99±1,96 ^{a,b}	0,74±0,41 ^a	0,054±0,006 ^a	0,043±0,023 ^a	136,0±46,4 ^a	7,32±0,35 ^b
TL	2,47±1,62 ^a	0,71±0,36 ^a	0,005±0,004 ^a	0,043±0,023 ^a	146,9±46,4 ^{a,b}	6,85±0,30 ^a

AR: agua residual; AS: agua residual + material de soporte; L:AS+*Lemna sp.*; T:AS+*T.dominguensis*; TL: AS+*T. dominguensis* + *Lemna sp.*; (-): no hubo remoción. Parámetros con la misma letra no difieren significativamente entre tratamientos, aquellos con diferente letra difieren significativamente entre ellos (p≤0,05).

El Gráfico 3 muestra los valores promedio para la remoción de cada uno de los parámetros según el tratamiento estudiado. Se observa que hubo remoción en todos los parámetros, excepto en el caso del nitrito para el tratamiento L, donde el mismo se incrementó de manera notable. EL Gráfico 4 muestra los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para los valores de remoción obtenidos, a través del cual se obtuvo que existe diferencia significativa entre las medias de remoción de los tratamientos, por lo que se aplicó el método de Tukey como contraste de comparación múltiple *post hoc*, a través del cual se obtuvo los grupos de subconjuntos homogéneos reflejados en el Gráfico 3.

Gráfico 3: Remoción promedio (%) y comparación de medias a través de la prueba de Tukey.

TRATAMIENTO	NTK	N-NH ₃	N-NO ₂	N-NO ₃	DQO
AR	71±16 ^b	88±7 ^a	46±36 ^a	25±31 ^{a,b,c}	13±33 ^b
AS	67±17 ^b	83±13 ^b	10±125 ^a	8±57 ^c	21±30 ^b
L	56±22 ^c	69±20 ^b	(-) ^b	18±42 ^{b,c}	26±30 ^b
T	80±10 ^a	93±4 ^a	63±72 ^a	36±24 ^{a,b}	47±20 ^a
TL	84±9 ^a	93±4 ^a	54±64 ^a	41±24 ^a	42±22 ^a

AR: agua residual; AS: agua residual + material de soporte; L:AS+*Lemna sp.*; T:AS+*T.dominguensis*; TL: AS+*T. dominguensis* + *Lemna sp.*; (-): no hubo remoción. Parámetros con la misma letra no difieren significativamente entre los tratamientos, aquellos con diferente letra difieren significativamente entre ellos (p≤0,05).

Los sistemas más eficientes removiendo nitrógeno en sus diferentes formas fueron los tratamientos con presencia de la planta emergente *Typha dominguensis*. La Gráfica 3 muestra la agrupación en subconjuntos según los resultados de la prueba de Tukey.

Los tratamientos T y TL alcanzaron valores de remoción de NTK de 80±10% y 84±9% respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre ellos (Gráfico 3). La excelente remoción para este parámetro alcanzada por los tratamientos AR y AS (71±16 y 67±17 %, sin diferencia significativa entre ellos) fue inesperada, así como también fue inesperado el porcentaje de remoción para N-NH₃ en el caso del tratamiento L (56±22%), el cual no alcanzó las expectativas, ubicándose con el menor porcentaje de remoción para este parámetro.

Los valores alcanzados para AR y AS demuestran que la actividad de los microorganismos (bacterias y algas), aunado al tiempo de retención, son factores importantes en la remoción de N. Esta actividad comprende procesos de nitrificación, absorción por las algas y volatilización (Prystay y Lo, 2001). Los resultados para T y TL demuestran que la presencia de la vegetación incrementó la remoción de N en comparación con los sistemas no plantados, sin embargo, en los sistemas plantados la presencia de microalgas es disminuida y por lo tanto la acción de bacterias y plantas alcanzaría mayor importancia. La presencia de la especie *Typha dominguensis* favorece la oxigenación del sistema a través de sus raíces, lo que provee mejores condiciones para la nitrificación (Prystay y Lo, 2001).

Gráfico 4: Análisis de la varianza de los niveles de remoción de los parámetros estudiados.

PARÁMETRO	Suma de cuadrados		gl	Media Cuadrática	F	Sig.
Remoc NTK	Inter-grupos	24831,81	4	6207,95	25,336	0,000
	Intra-grupos	61255,77	250	245,02		
	Total	86087,58	254			
Remoc N-NH ₃	Inter-grupos	19884,96	4	4971,24	37,698	0,000
	Intra-grupos	32967,86	250	131,87		
	Total	52852,83	254			
Remoc N-NO ₂	Inter-grupos	3383651,56	4	845912,89	13,021	0,000
	Intra-grupos	155267,41	239	64965,44		
	Total	18910392,71	243			
Remoc N-NO ₃	Inter-grupos	34612,03	4	8653,01	6,063	0,000
	Intra-grupos	351084,03	246	1427,17		
	Total	385696,06	250			
Remoc DQO	Inter-grupos	41861,56	4	10465,39	13,988	0,000
	Intra-grupos	187043,92	250	748,18		
	Total	228905,48	254			
Variación Ph	Inter-grupos	17846,13	4	4461,53	149,381	0,000
	Intra-grupos	7466,70	250	29,867		
	Total	25312,82	254			

La remoción alcanzada por el sistema L no fue la esperada, esto pudo deberse a que la adaptación y cobertura del área por parte de la planta *Lemna sp* fue bastante lenta, probablemente como consecuencia de la competencia con la gran cantidad de microalgas presentes en las aguas en tratamiento, las cuales habrían impedido su propagación y la muerte de gran cantidad de individuos, lo cual representó la reincorporación de nitrógeno al sistema. Adicionalmente, la longitud alcanzada por las raíces de la *Lemna sp* limitó a muy pocos centímetros el efecto favorable que la rizósfera y los microorganismos aerobios presentes en ella tienen sobre los procesos depurativos que ocurrieron en el sistema. En el tratamiento TL la *Lemna sp* alcanzó mejor desarrollo, probablemente la rápida disminución de las microalgas debida al efecto de la presencia de la planta *Typha dominguensis* favoreció la extensión de la planta flotante, la cual habría tenido papel importante en el excelente porcentaje alcanzado por este tratamiento.

En el caso del N-NH₃, forma predominante de N en las aguas de entrada al sistema experimental, los tratamientos T y TL alcanzaron los valores más altos con 93±4% en ambos casos, seguidos por el tratamiento AR con 88±7%, no existiendo diferencia significativa entre ellos ($p \geq 0,05$), ni entre éste último y el tratamiento AS, con remoción de 83±13%, seguidos por el tratamiento L con 69±20%, el cual presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) con los tratamientos anteriores, según se muestra en el Gráfico 3. Los valores alcanzados por los tratamientos T y TL en comparación con el valor alcanzado por el tratamiento AR, deja un pequeño margen de remoción atribuible a la presencia de la vegetación, y confirmando que los principales procesos serían los biológicos, donde, además de las bacterias, las microalgas habrían cumplido una importante función. Sin embargo, en ambos tratamientos la presencia de microalgas fue bastante disminuida ante la presencia de la planta *Typha dominguensis*, la

cual a través de su denso crecimiento ocasionó la disminución de la penetración de la luz a través del agua y la consecuente disminución de la actividad microalgal, dando de esta manera mayor margen de acción a la actividad removedora del N por parte de las plantas, y en el caso del tratamiento TL, habría contribuido a que la planta flotante *Lemna, sp.* lograra establecerse con menos dificultad que en el caso del tratamiento L, donde la cobertura de la superficie por la planta flotante fue muy demorada, debido a la gran cantidad de población microalgal. La remoción alcanzada por el tratamiento L pudo haber sido afectada por esta condición, ya que la materia muerta retornaba al agua nitrógeno presente en la misma, no permitiendo que el promedio de remoción alcanzara mayor valor.

Los valores presentes de N-NO_3^- y N-NO_2^- , en la entrada al sistema y en la salida de los diferentes tratamientos, fueron despreciables en comparación con el N-NH_3 . Los mayores porcentajes de remoción de estas formas de nitrógeno correspondieron a los tratamientos T y TL; en el caso del N-NO_2^- , se obtuvo remoción promedio de $63\pm 72\%$ en el caso del tratamiento T y $54\pm 64\%$ para TL, no existiendo diferencia significativa entre ambos valores, seguidos por el tratamiento AR con $46\pm 36\%$. La remoción en el caso del tratamiento AS fue muy baja con relación a los valores mencionados, mientras que en el caso del tratamiento L no hubo remoción de nitrito, habiendo por el contrario un incremento del mismo, el cual podría ser producto de la no ocurrencia o culminación del proceso de nitrificación, debido probablemente, a la falta de oxígeno como consecuencia de la cobertura de la *Lemna sp* que impide el contacto atmosférico (Gopal, 1999). Esta condición favorece la ocurrencia de las reacciones de reducción, que llevarían a la transformación del nitrato presente en las aguas a nitrito

En el caso del N-NO_3^- , la remoción para los tratamientos T y TL fue de $36\pm 24\%$ y $41\pm 24\%$ respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre ellas, ni con el tratamiento AR, el cual alcanzó el valor de $25\pm 31\%$. Los menores valores fueron los obtenidos para los tratamientos L y AS, 18 ± 42 y $8\pm 57\%$, respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre estos tratamientos, según muestra la Gráfica 3. Las formas de nitrógeno asimilables por las plantas son el N-NH_3 y N-NO_3^- , razón que podría explicar las mayores remociones de éste último en los tratamientos T y TL y su diferencia con los tratamientos AR y AS. La diferencia de remoción entre los tratamientos TL y T (5%) podría ser atribuida a la presencia de *Lemna sp*, en el tratamiento TL; la remoción en el caso del tratamiento AR confirma la contribución de las microalgas en el proceso depurativo, tal como ocurre en los tratamientos con lagunas de oxidación (Gopal, 1999).

Al analizar los valores se observa que los tratamientos con presencia de las plantas *Typha dominguensis* y *Lemna sp* fueron los más eficientes removiendo materia orgánica. 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 (Kadlec y Knight, 1996). Este proceso fue favorecido por la morfología de las raíces de la *Typha dominguensis* que proporcionó gran cantidad de área para la formación de la película biológica donde se ubicaban los microorganismos que realizan la descomposición de la materia orgánica y permitió, además, que los sólidos quedaran atrapados entre las raíces. Para los tratamientos AR y AS la presencia de microorganismos en el agua residual, aunado al tiempo de retención al cual fueron sometidos, habría permitido la ocurrencia de los diferentes mecanismos físico-químicos y biológicos a través de los cuales se alcanza la eliminación de la DQO, siendo mucho menor al compararla con los resultados obtenidos para T y TL.

A nivel de remoción de materia orgánica medida como DQO, los tratamientos T y TL fueron los más eficientes, alcanzando valores de 47 ± 20 y 42 ± 22 % respectivamente, no existiendo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ellos. Estos porcentajes fueron superiores a los alcanzados por los tratamientos L, AS y AR, los cuales obtuvieron 26 ± 30 , 21 ± 30 y 13 ± 33 % respectivamente, existiendo diferencia significativa con los valores obtenidos para TL y T. La remoción de materia orgánica fue debida 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. Este proceso fue favorecido por la morfología de las raíces de la *Typha dominguensis* que proporcionó gran cantidad de área para la formación de la película biológica donde

se ubicaron los microorganismos, además de formar un filtro natural donde habría quedado retenida parte la materia particulada.

Los valores promedio de pH a la salida de los diferentes tratamientos variaron de manera significativa entre ellos (Gráfico 4).. Esta variación se reflejó en el aumento del valor promedio con relación a la entrada en los tratamientos AR y AS, y como una disminución en el caso de los tratamientos L, T y TL. El incremento del pH en los tratamientos AR y AS podría ser consecuencia de 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 eliminación. 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 (Prystay y Lo, 2001; Kyambadde *et al.*, 2005).. En los tratamientos L, T y TL el valor de pH disminuyó probablemente debido a los ácidos producidos por la acción microbiológica dentro del sistema y por los exudados ácidos que son liberados por las plantas a través de sus raíces (Coleman, 2001), haciendo más evidente la disminución del pH en el tratamiento TL, probablemente por la acción en conjunto de las plantas *Typha dominguensis* y *Lemna sp.* Los promedios de pH variaron entre $6,85 \pm 0,30$ y $8,68 \pm 0,21$, manteniéndose en un rango favorable para la acción de la población microbiana responsable de los diferentes procesos depurativos que se realizan en los humedales construidos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la planta emergente *Typha dominguensis* fue efectiva en la remoción de las diferentes formas estudiadas del nitrógeno (NTK; N-NH₃, N-NO₂ y N-NO₃) y DQO presente en los efluentes de las lagunas de estabilización, y que en presencia de *Lemna sp* la remoción se incrementa en los casos de NTK, N-NH₃ y N-NO₃, confirmándose que éstas últimas son las formas en que las plantas absorben el nitrógeno. Sin embargo, en las condiciones del bioensayo, el tratamiento con *Lemna sp* en monocultivo no fue efectivo, siendo los valores de remoción obtenidos para este tratamiento, en algunos casos, superados por los demás tratamientos considerados.

Los valores de remoción alcanzados para los tratamientos no plantados demostraron la función que los microorganismos (bacterias, microalgas, etc.), ejercen en los procesos depurativos que se cumplen en el tratamiento de las aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA-AWWA-WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater, 20th edition, 1999.
2. BRIX H. Do macrophytes play a role in constructed wetlands? *Wat. Sci. Tech.* v.35, n.5, p.11-17, 1997.
3. COLEMAN J., HENCH K., GARBUTT K., SEXSTONE A., BISSONNETTE G., SKOUSEN J. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution*, n.128, p.283-295, 2001.
4. GERSBERG, R. M., ELKINS, B. V., LYON, S. R., GOLDMAN, C. R. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands, *Water Res.*, v. 20, n. 3, p. 363-368, 1986.
5. GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. *Wat. Sci. Tech.*, v. 40, n. 3, p. 27– 35, 1999.
6. GREEN, M., FRIEDLER, E., RUSKOL, Y., SAFRAI, I. Investigation of alternative method for nitrification in constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, v. 35, n. 5, p. 63 – 70, 1997.
7. KADLEC R. y KNIGHT R. *Treatment Wetlands*. CRC. Lewis Publishers. Boca Ratón. New York, 1996.

8. KYAMBADDE, J., KANSIIME, F., DALHAMMAR, G. Nitrogen and phosphorus removal in substrate-free pilot constructed wetlands with horizontal surface flow in Uganda, *Water, Air and Soil Pollution*, n. 165, p. 37-59, 2005.
9. KOOTTATEP, T., POLPRASERT, C. Role of plant uptake and nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics. *Wat. Sci. Tech.*, v. 36, n. 12, p. 1-8, 1997.
10. LAU, P. S., TAM, N. F. Y., WONG, Y. S. Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater. *Environmental Pollution*, n. 89, p. 59-66, 1995.
11. PRYSTAY, W., LO, V. Treatment of greenhouse wastewater using constructed wetlands. *J. Environ. Sci. Health*, v. 36, n. 3, p. 341-353, 2001.
12. REED, S. C., MIDDLEBROOKS, E. J., CRITES, R. W. Natural systems for wastewater management and treatment. McGraw Hill Book Company, New York, 1988.