

Evaluación de la utilización del duckweed como alternativa de pos-tratamiento de aguas residuales domesticas en efluentes de lagunas de oxidación

Luís Ramírez H. MSc.¹, Lorena Sierra C.²

Grupo de investigación: Ciencia, Ambiente y Tecnología

1. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Universidad Popular del Cesar

2. Sue Caribe. Universidad Popular del Cesar

Correspondencia: lofesicu06@yahoo.com

Recibido: 03-18-2010/ Aceptado: 06-17-2010

Resumen

En el presente estudio se trabajó a escala de laboratorio un sistema de pos-tratamiento de agua residual doméstica en reactores tipo batch con el fin de evaluar la potencialidad del duckweed para remover materia orgánica, nutrientes y coliformes, utilizando como sustrato aguas residuales provenientes de las lagunas de oxidación del sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Valledupar. Las lemnáceas que sirvieron como inóculo para desarrollar la investigación fueron tomadas de jagüeyes ubicados a las afueras de Valledupar. En esta investigación se analizaron los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno, nitrógeno total kjeldalh, fósforo, coliformes, conteo de frondas, determinación de la biomasa.

Palabras claves: aguas residuales, duckweed, lemna s.p., pos-tratamiento.

Abstract

Evaluation of the use of duckweed as an alternative for post-treatment of domestic wastewater effluent from oxidation ponds.

In the current study we worked on a laboratory scale a system for post-treatment of domestic wastewater in batch-type reactors in order to evaluate the potential of duckweed to remove organic matter, nutrients and coliforms, using as substrate wastewater from the oxidation ponds of the wastewater treatment system from the Municipality of Valledupar. The lemnaceae that served as inoculums to develop there search were taken from jagüeyes located on the outskirts of Valledupar. This research analyzed the following parameters: chemical oxygen demand, total nitrogen kjeldalh, phosphorus, coliforms, count of fronds, determination of biomass.

Keywords: wastewater, duckweed, Lemnas.p., post-treatment.

Introducción

Un sistema ideal de tratamiento de aguas residuales debe contemplar como mínimo la remoción de materia orgánica e inorgánica incluyendo los organismos patógenos, la conservación y máxima utilización de recursos como el caso de los nutrientes y la destrucción o secuestro para la disposición adecuada de tóxicos o materiales peligrosos como los metales pesados.

Lograr todas estas tareas con un sistema en una sola etapa o por un solo organismo es prácticamente imposible. Un sistema integral con la participación de diferentes organismos puede arrojar excelentes resultados, aplicando el concepto ecológico de que la diversidad en un sistema puede contribuir a la estabilización (1).

Los sistemas de lagunaje pueden ser una buena alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de una población, pero tienen el inconveniente de no remover nutrientes, los cuales permanecen disponibles para la proliferación de algas ocasionando problemas estéticos, de salud pública y alteraciones a los ecosistemas existentes, entre otros. Por lo cual se considera necesario realizar investigaciones de pos-tratamiento de estos efluentes. Las macrofitas acuáticas son plantas altamente productivas, que se caracterizan por su amplia distribución y hábitat y por presentar un crecimiento acelerado, considerando éstas características se busca determinar la viabilidad que presentan los sistemas de depuración que emplean las macrofitas *lemnas s.p.* para el tratamiento de efluentes de lagunas de oxidación de aguas residuales domésticas. La finalidad del experimento es evaluar en reactores tipo batch a escala de laboratorio operados con *lemnas s.p.*, la capacidad reproductiva de la *lemná s.p.*, la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes de esta, y además analizar las posibles incidencias del pH y la temperatura sobre las mismas.

Materiales y métodos

La fase experimental de este estudio se realizó en los laboratorios de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y en el Centro de Consultas Industriales CIDI de la Universidad Popular del Cesar.

Unidad experimental. Se tomó como unidad experimental el efluente de las lagunas anaerobias del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales “El Salguero”.

Unidad de observación. Se utilizaron cuatro recipientes plásticos de 14 lts de capacidad con un área superficial de 987,5 cm² y 14 cm de altura.

Cultivo del duckweed. El cultivo del Duckweed fue tomado de un humedal localizado en la Finca Villa Bere, ubicada a 4 km del casco urbano de la ciudad de Valledupar vía a Patillal. Las frondas fueron lavadas para reducir la acumulación de algas y remover los tejidos de las plantas muertas o decaídas.

Muestreo del agua residual. Para la experimentación de este trabajo se tomaron muestras del efluente de las lagunas anaerobias del Sistar “El Salguero” de Valledupar.

Montaje del sistema. Se realizaron dos montajes iniciales, con el fin de establecer la luminosidad adecuada para el óptimo crecimiento de las plantas. Un montaje en presencia de luz y el otro con luz controlada. Posteriormente se procedió a realizar el montaje para análisis fisicoquímico del agua y análisis de crecimiento del Duckweed.

Para cada uno de los montajes se usaron cinco reactores, los reactores 1, 2 y 3 contenían agua residual del efluente de la laguna anaerobia muestreada, el reactor 4 (control) contenía agua del humedal donde las *lemnas sp* fueron tomadas y el reactor 5 (control) contenía agua del efluente de la laguna anaerobia. Los reactores 1, 2, 3 y 4 fueron inoculados con *lemnas sp*, mientras que el reactor 5 no se inoculó. El reactor 4 (control) se utilizó para el análisis fisicoquímico mientras el reactor 5 (control) se empleó para el análisis de crecimiento, Figura 1A

Análisis fisicoquímico del agua. Durante toda la fase experimental y con el fin de monitorear el comportamiento del *Duckweed* en los reactores se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: demanda química de oxígeno (DQO), coliformes

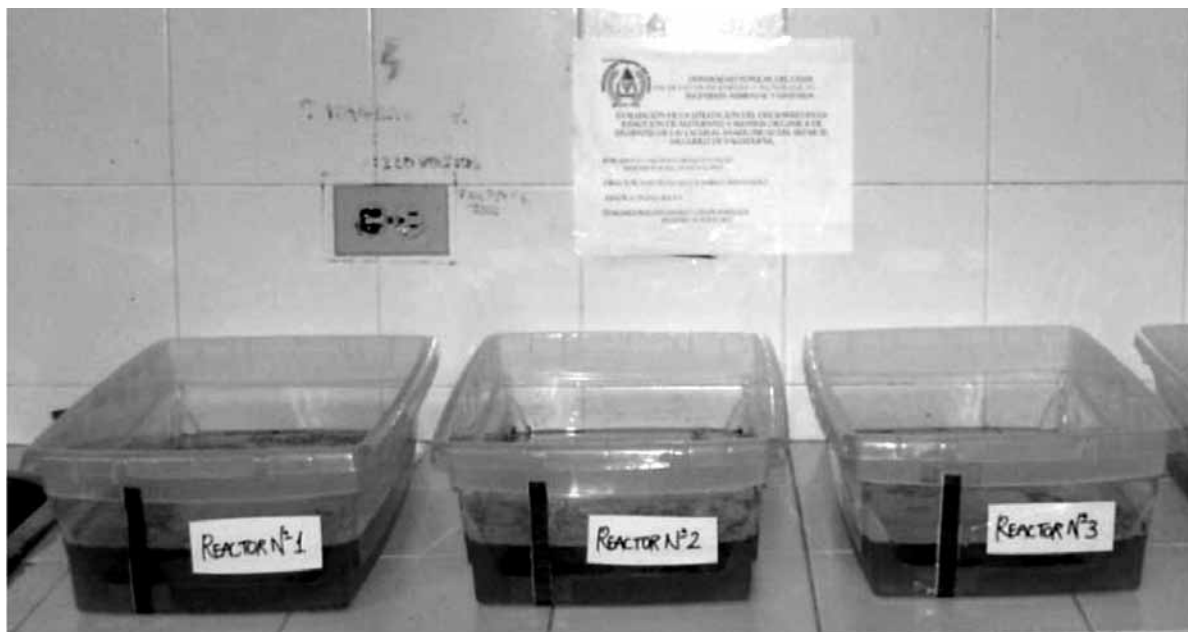


Figura 1. Unidad de observación.

fecales y totales, pH, Nitrógeno total kjendalh (NTK), temperatura, fósforo, los cuales se realizaron según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1996) 19 Ed. (2).

Análisis del crecimiento del duckweed. El seguimiento del crecimiento del Duckweed fue controlado por diversos métodos: el conteo del número de frondas y la determinación de la producción de biomasa a través de peso seco y peso fresco, además de la evaluación de la apariencia visual, color y tamaño de las frondas.

Se determinó la tasa relativa de crecimiento (TRC) de las plantas, calculada sobre la base de un modelo de regresión lineal que sigue la siguiente expresión matemática:

$$\ln N_t = \ln N_0 + TRC * t$$

Donde;

Nt: Número de frondas al tiempo t.

N0: Número de frondas al inicio.

TRC: Tasa relativa de crecimiento (d⁻¹).

t: Tiempo en días.

Resultados

El análisis de la variación del crecimiento de la lemna sp en relación al tiempo y en presencia de luz se presenta en la Figura 2.

Al analizar el comportamiento del Duckweed en los dos montajes se pudo establecer que la planta se desarrolla mejor en presencia de luz, por lo que se determinó que se trabajaría en condiciones de luz ambiente y se procedió a realizar el tercer montaje, las curvas de crecimiento se presentan en la Tabla 1.

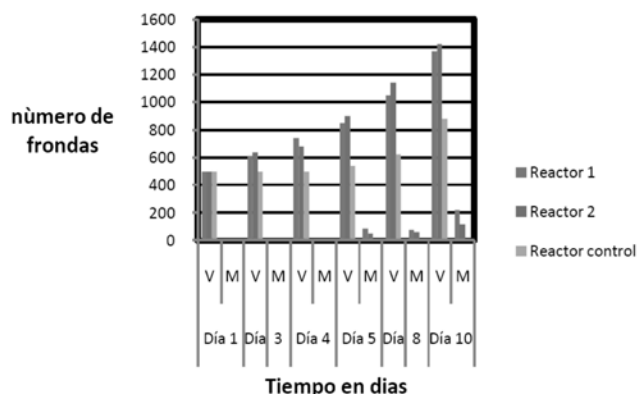


Figura 2. Índice de crecimiento de la lemna sp en presencia de luz.

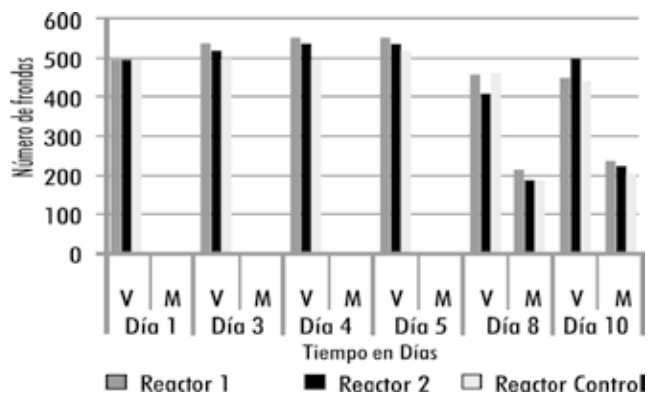


Figura 2a. Índice de crecimiento de la lemna sp en condiciones de luz controlada.

En la Tabla 2, se resumen los TRC calculadas para las condiciones del experimento en base a los resultados obtenidos. La tasa relativa de crecimiento (TRC) de las plantas, fue calculada sobre la base del modelo de regresión lineal.

En la figura 3 se puede observar que en el día 10 el número de lemnas aumentó un poco más del triple que el valor de siembra y el día 20 aumentó más de 20 veces, con lo cual se puede evidenciar la alta tasa de crecimiento. Estos valores son similares a los reportados por Pinto (2000) (3). La fase de adaptación de las lemnas se dio hasta el día cuatro del experimento a partir del cual comenzó el crecimiento de estas. En los reactores tratados con aguas del efluente de la laguna anaerobia presentan mayor crecimiento que el reactor control, lo que

evidencia que la presencia de nutrientes y materia orgánica en las concentraciones presentadas en esta investigación, ejercen un efecto positivo en la tasa relativa de crecimiento del Duckweed.

A partir del día 15 la tasa de crecimiento de la macrofita disminuyó, probablemente por la competencia que se presenta por el espacio físico y la poca disponibilidad de nutrientes considerando el tiempo que ha transcurrido en la experimentación.

Determinación de la producción de biomasa.

La producción de biomasa es calculada como peso fresco y peso seco y como la relación de estos pesos y el número de frondas. La Tabla 3 resume los pesos de materia fresca y seca obtenidos al final del experimento.

Tabla 1. Conteo de frondas

DIAS TRASCURRIDOS	REACTOR 1	REACTOR 2	REACTOR 3	REACTOR CONTROL
0	500	500	500	500
5	812	820	836	893
10	1624	1752	1650	1282
15	9873	9247	9556	7920
20	12725	11513	12234	9788

Fuente: Autor del Proyecto

Tabla 2. Tasa relativa de crecimiento.

REACTOR	Tasa relativa de crecimiento (d-1)
Reactor 1	0,1618
Reactor 2	0,1568
Reactor 3	0,1599
Reactor control	0,1456

Fuente: Autor del Proyecto

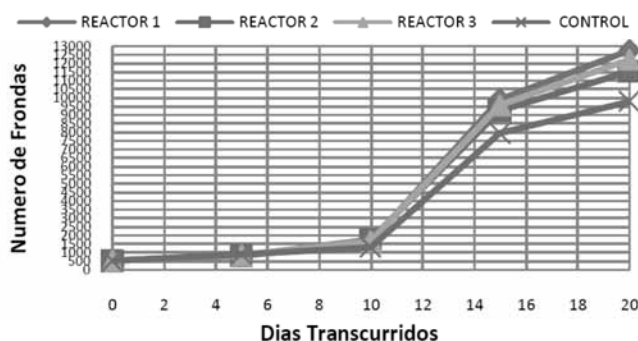


Figura 3. Curvas de crecimiento para el Duckweed en los reactores.

Tabla 3. Producción de biomasa.

REACTOR	PESO FRESCO (gr)	PRODUC. DE BIOMASA (mg/fronda)	PESO SECO (gr)	PRODUC. DE BIOMASA (mg/fronda)
Reactor 1	15,6217	1,2276	8,7836	0,6903
Reactor 2	14,1338	1,2276	8,4551	0,7344
Reactor 3	15,0184	1,2276	8,5286	0,6971
Reactor control	12,0158	1,2276	6,3823	0,6521

Fuente: Autor del proyecto



Figura 4. Condiciones de los reactores.

Observación visual. En los primeros cuatro días del proceso de aclimatación del Duckweed, se pudo observar un color verde amarillento, algunas se han muerto pero no han descendido al fondo, y otras han perdido las raíces. Ya pasada la fase de aclimatación de la planta, se observó un cambio de color, pasando del verde amarillento a un verde biche bastante fuerte, evidenciándose un rápido crecimiento y una acelerada reproducción; las nuevas frondas presentaban raíces más cortas.

Pasados los días, se continuó observando la reproducción del Duckweed hasta lograr el completo cubrimiento del área superficial de los reactores, como se muestra en la Figura 4.

Determinación del pH.

Durante el montaje, el comportamiento del pH en los reactores fue muy similar, el valor inicial del pH oscilaba cerca de 7.35 y con el pasar de los días se vio un aumento gradual, presentándose un pico máximo de pH en el día 15 (en esta fase del experimento los reactores estaban en su mayoría cubiertos por la planta) con valores de 8,44 en el reactor 1, de 8,44 en el reactor 2 de 8,46 en el reactor 3 y 8,65 en el control.

Este comportamiento puede deberse a la alta luminosidad como lo establecen Zirschy Y Reed (1988) (4), quienes a través de su investigación observaron aumentos del pH en lagunas *Duckweed* en días soleados, comprobando así que un pH alrededor de 10 es posible en lagunas cubiertas con esta planta. Este comportamiento se presenta en la Tabla 4.

Maclay (1976) (5), observó que el *Duckweed* tiene un pH óptimo de 7,0 con rangos de tolerancia inferior y superior de 3 y 10 respectivamente, concordando con los resultados de este trabajo.

Caicedo (2000) (6), expone que el aumento gradual en este parámetro puede deberse a procesos de asimilación de materia orgánica por parte del Duckweed y la degradación de la misma aportando sedimentos. En la Figura 5 se pueden observar los valores del comportamiento de esta variable en el tiempo.

La Figura 5 muestra los valores de PH en cada uno de los reactores presentes en el experimento. El PH presenta una oscilación de (7.35 – 8.65). El valor más alto se manifestó en el reactor control y el más bajo se encontró en la caracterización inicial.

Determinación de la temperatura. Se presentó una variación de temperatura ambiente entre (29.4 – 31.9).

Tabla 4. Análisis de la variación del pH en relación al tiempo.

	PH									
Reactor	Día1	Día2	Día4	Día5	Día9	Día10	Día12	Día14	Día15	
Reactor 1	7,35	7,74	8,19	8,26	8,10	8,19	8,24	8,37	8,44	
Reactor 2	7,35	7,74	8,17	8,22	8,12	8,18	8,24	8,33	8,44	
Reactor 3	7,35	7,75	8,16	8,24	8,16	8,20	8,25	8,36	8,46	
Reactor Control	7,35	7,83	8,20	8,26	8,40	8,41	8,49	8,61	8,65	

Fuente: Autor del proyecto

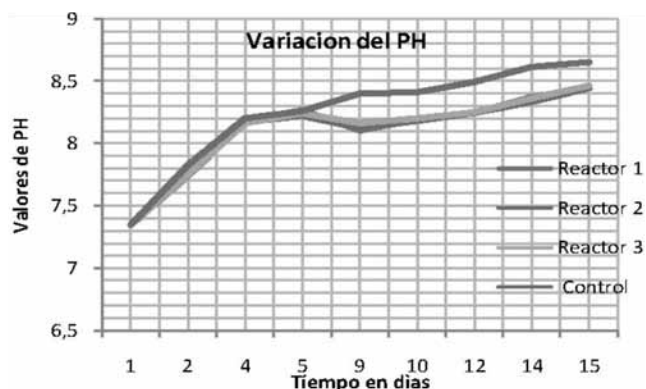


Figura 5. Variación de los valores del PH en cada reactor

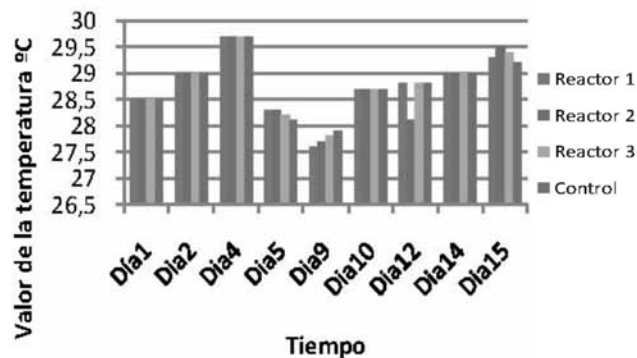


Figura 6. Valores de la temperatura en cada reactor.

Durante la realización del experimento se presentaron variaciones de temperatura, pero aun así, todas estas se encontraron dentro del rango de crecimiento de la planta acuática – Duckweed, como lo expresa Arroyave (2004) (7), quien expone que el rango de temperatura que garantiza el crecimiento del Duckweed se encuentra entre 5-30°C. La variación de la temperatura en cada reactor se presenta en la Figura 6.

Determinación de la DQO. Los resultados de remoción en términos de materia orgánica fueron significativos los tres primeros días del montaje del experimento, presentándose una remoción mayor a 60mg/l en los reactores que contenían *lemna sp* y un 40% aproximadamente en el reactor control. Al final del experimento los resultados obtenidos fueron de 80.92% (78.9mg/l) en el reactor 1, 78.97% (77 mg/l) en el reactor 2, 75.69% (73.8mg/l) en el reactor 3 y 65.12% (63.5 mg/l) en el reactor control. Con estos resultados podemos deducir que estas macrofitas presentan una remoción aceptable en términos de DQO, Tabla 5.

Lo que se puede corroborar con el trabajo “recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas” realizado por Celis

Hidalgo *et al*, (2005)(8) en donde se concluye la capacidad de remoción de materia orgánica en términos de DQO de las macrofitas, Tabla 5. Esta remoción nos evidencia que hay asimilación de la materia orgánica por parte de la macrofita sembrada en los reactores usados en este experimento.

En la Figura 7 se puede observar que los reactores donde se inoculó la macrofita presentaron mayor remoción en terminos de DQO comparados con el control. Analizando estos resultados se puede establecer que en los reactores 1, 2 y 3 se obtuvo un valor aproximado de 15% de remoción mayor que el control.

Determinación del nitrógeno total kjeldalh. En cuanto a los resultados de la eliminación de nutrientes, específicamente de nitrógeno, se evidenciaron los siguientes porcentajes de remoción de cada uno de los reactores: 96.93% en el reactor 1, 94.63% en el reactor 2, 94.61% en el reactor 3 y 43.35% en el reactor control evidencian que dicha remoción supera el 80%, observándose mayor remoción en el reactor 1, donde se observo el mayor crecimiento del Duckweed.

Tabla 5. Valores de DQO obtenidos durante la experimentación.

DIAS TRANSCURRIDOS	DQO (Mg/Lts)			
	REACTOR 1	REACTOR 2	REACTOR 3	REACTOR CONTROL
1	97,5	97,5	97,5	97,5
3	35,1	29,5	28,5	54,7
9	30,3	31	36	50,3
12	24,5	25,6	27,9	46,6
15	18,6	20,5	23,7	34

Fuente: Autor del proyecto

Discusión

La capacidad de asimilación de los nutrientes en términos de nitrógeno por parte del Duckweed está directamente relacionada con la velocidad de crecimiento, la población establecida y la composición del tejido de las plantas (Waha *et al.*, 2005)(9).

Silva y de Quiroz (2004)(10) señalaron que los estanques con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, se basan en principios ecológicos, en donde los efluentes son tratados eficientemente mediante relaciones mutuas y coordinadas de flujo de energía y nutrientes, entre las plantas acuáticas y los microorganismos degradadores.

En las figuras 8 y 9 se observa el comportamiento del nitrógeno total Kjendalh en cada uno de los reactores; la mayor parte de los elementos asimilados puede deberse a la absorción de los compuestos nitrogenados por parte de la macrofita.

Investigaciones anteriores muestran que la remoción de nitrógeno total kjendalh en lagunas Duckweed se da de forma gradual en relación a los días transcurridos; es el caso de Caicedo, J. R. et al (1995) (11), en el que se analizó el comportamiento de este parámetro en líneas continuas de 7 estanques, con TRH de 3 días en cada uno, donde se demostró que la disminución de NTK es debida mayormente a la incorporación en la biomasa vegetal.

En la Figura 9 se puede apreciar la remoción del NTK por parte de la macrofita *lemna sp* en cada uno de los reactores, en los reactores 1, 2 y 3 el porcentaje está por encima del 90%, mientras el reactor control el cual no fue inoculado con la macrofita presenta una remoción por debajo del 45%. Por lo cual se puede establecer que la efectividad de la *lemna sp* para la remoción de nitrógeno total es mayor del 50%.

El comportamiento durante el montaje en relación a la eliminación de nutrientes, específicamente de fósforo total, se evidencian en la Tabla 6. Los porcentajes de remoción de cada uno de los reactores superan el 69%, observándose mayor remoción en el reactor 2. El comportamiento de los reactores fue muy similar, con concentraciones al final del montaje de 13.85mg/L en el reactor 1; 11.82mg/L en el reactor 2; 12.05mg/l en el reactor 3 y 37.44mg/l en el control.

Los resultados de este experimento evidencian que la remoción del fósforo en los reactores puede deberse

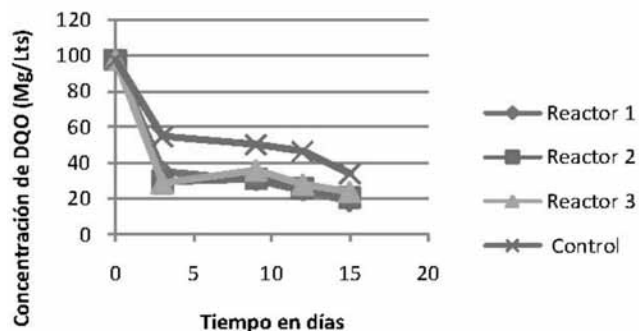


Figura 7. Variaciones de concentración de DQO.

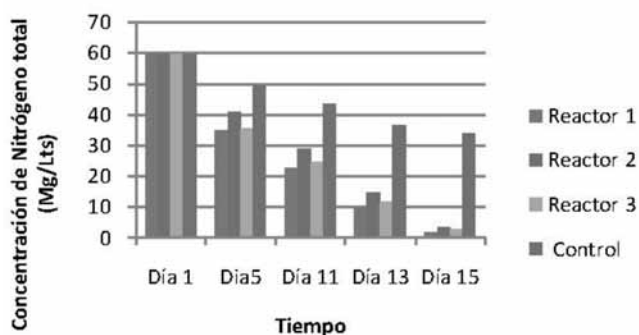


Figura 8. Valores de las variaciones en las concentraciones de nitrógeno total.

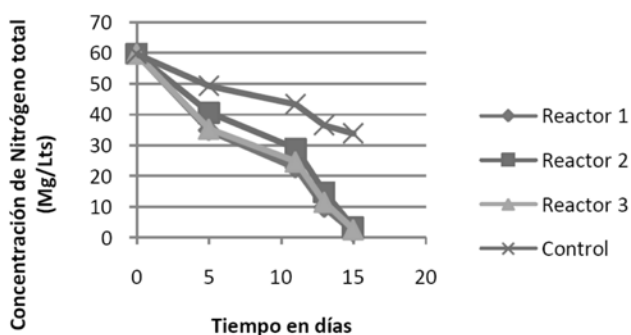


Figura 9. Variaciones en las concentraciones de nitrógeno total.

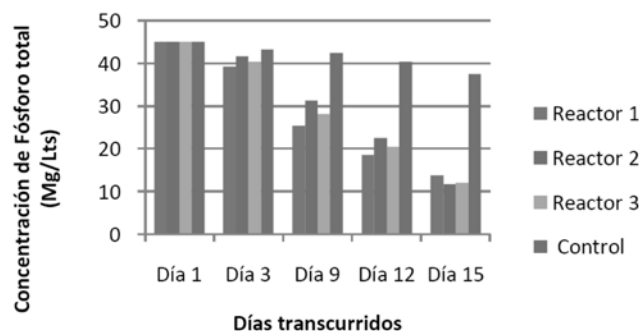


Figura 10. Valores de las concentración de fósforo total.

Tabla 6. Variación de la concentración de fósforo total.

DIAS TRANSCURRIDOS	FÓSFORO TOTAL (Mg/Lts)			
	REACTOR 1	REACTOR 2	REACTOR 3	REACTOR CONTROL
1	44,94	44,94	44,94	44,94
3	39,25	41,54	40,36	43,15
9	25,42	31,24	28,17	42,32
12	18,57	27,73	20,52	40,36
15	13,85	11,82	12,05	37,44

Fuente: Autor del proyecto.

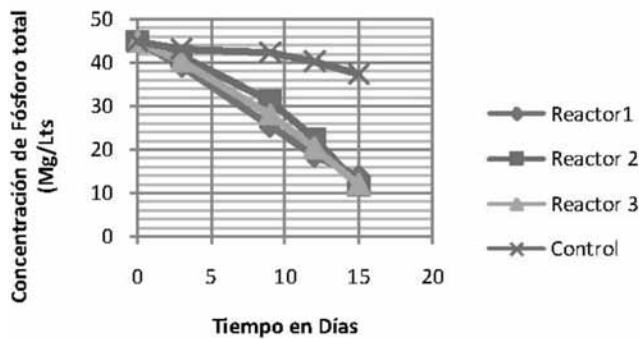


Figura 11. Variación de las concentraciones de fósforo total.

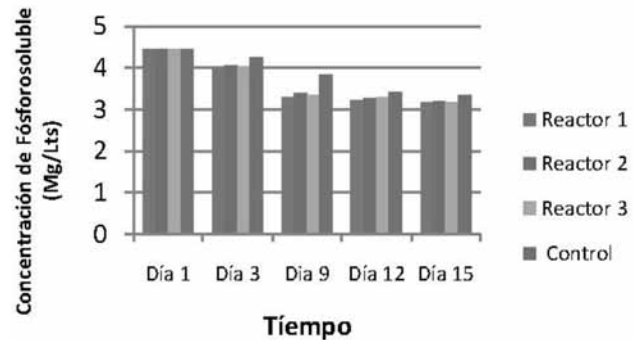


Figura 12. Valores de las concentraciones de fósforo soluble en los reactores.

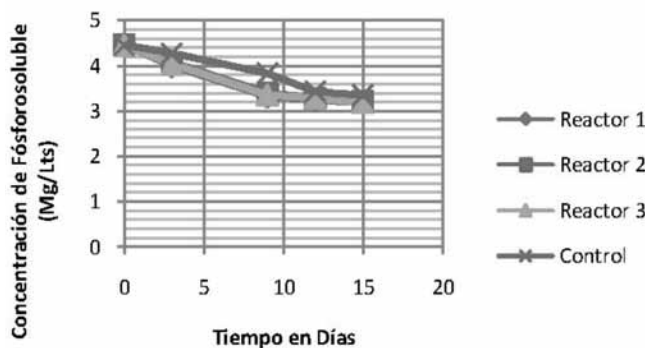


Figura 13. Variación de las concentraciones de fósforo soluble en los reactores.

a la acumulación del mismo en los sedimentos y a la absorción del fósforo por parte de la planta. Esto se soporta en investigaciones previas, como es el caso de Rodríguez P., *et al*, (1996)(12), en donde la remoción de fósforo es relacionada con la absorción por parte de la planta; y su eficiencia depende del tamaño y el sistema radicular de las mismas. El comportamiento de este parámetro se presenta en las Figuras 10 y 11.

Analizando la figura anterior se pudo determinar que las macrofitas en estudio (*lemnas sp*) presentaron una remoción significativa en los niveles de fósforo total lo cual se refleja en los porcentajes de remoción de

los reactores que trabajaron con esta macrofita: reactor 1 (69,18%); reactor 2 (73,7%); reactor 3 (73.19%), a diferencia del reactor control el cual presentó un porcentaje de remoción de 16.69%. Estudios realizados por Obek y Hasar (2002)(13) demuestran que la *lemna sp* puede remover fósforo eficientemente si se cosecha frecuentemente, la concentración pudo ser reducida de 15mg/lt a 0,5mg/lt al final de un periodo de 8 días (Durán Z.L., 2009)(14). Esto puede deberse a que las *lemnas* para su desarrollo necesitan altas cantidades de fósforo mejorando la calidad del agua (Caicedo 2007, citado por Durán Z.L., 2009) (6,14).

En cuanto a la determinación de fósforo disuelto, se encontró que la concentración de fósforo soluble removida fue de 1.28 mg/l (28.8%) para el reactor 1, 1.25 mg/l (28.1%) para el reactor 2, 1.27 (28.5%) mg/l para el reactor 3 y 1.1 mg/l (24.7%) para el control. Teniendo en cuenta que la variación entre la caracterización inicial y el valor final, la concentración de fósforo soluble en los reactores no es significativa, se establece que la *lemna sp* no realiza remoción considerable de este parámetro, lo que se puede observar en la figura anterior donde el control presenta un comportamiento similar que el de los reactores 1, 2 y 3, Figuras 12 y 13.

Tabla 7. Comportamiento de coliformes totales en los reactores.

DIAS TRANSCURRIDOS	COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)		
	REACTOR 1	REACTOR 2	REACTOR 3
0	≥16000000	≥16000000	≥16000000
10	≥16000000	≥16000000	≥16000000
20	≥16000000	≥16000000	≥16000000

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 8. Comportamiento de coliformes fecales en los reactores.

DIAS TRANSCURRIDOS	COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)		
	REACTOR 1	REACTOR 2	REACTOR 3
0	≥14000000	≥14000000	≥14000000
10	≥14000000	≥14000000	≥14000000
20	≥14000000	≥14000000	≥14000000

Fuente: Autor del proyecto.

En cuanto a la determinación de coliformes totales y fecales, se realizó para conocer la eficiencia que el Duckweed posee para remover este tipo de contaminación. Estos análisis microbiológicos se realizaron cada 10 días durante el montaje, y los resultados se muestran a continuación, Tablas 7 y 8.

Con base en estos resultados, se comprueba que el Duckweed no remueve contaminación en términos de coliformes, ya que no se observó ninguna reducción en los reactores. La eficiencia de sistemas con macrofitas es menor al de las algunas de estabilización convencionales (Dewedar y Bahgat, 1995; Reed *et al.*, 1988; Van der Steen *et al.*, 1998 citados por Valderrama *et al.*)(15) lo cual se ve reflejado en los valores de remoción de estas durante la experimentación ya que la concentración al último día es similar a la inicial.

Como conclusiones, se pudo establecer que el sistema duckweed es eficaz para la remoción de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo) en efluentes de lagunas de estabilización que tratan aguas residuales domésticas; sin embargo, el sistema experimental es ineficiente en lo que compete a remoción de contaminación fecal, ya que la concentración de coliformes totales y fecales permaneció igual al paso de los días.

Así mismo, la tasa de crecimiento del duckweed está determinada por la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica por lo tanto se puede establecer que estos son factores esenciales para su crecimiento y reproducción.

Con base en todo lo anterior, se puede concluir que el Duckweed, es una buena alternativa para la depuración de las aguas residuales domésticas, pudiendo eliminar grandes cargas de materia orgánica (expresada en DQO) y de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Además de las ventajas de orden económico y de implementación; por ser tecnologías limpias y que no requieren muchos recursos para su operación y mantenimiento. Sin embargo el uso del Duckweed, en el tratamiento de aguas residuales dependerá de las características presentes en la misma así como también de las condiciones del lugar donde se requiera hacer la implementación.

Referencias

- Hillman W., Culley D.(1978). The use of duckweed. Amer. Scien, 66, 442-451.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1996) 19 Ed. APHA and AWWA.
- Pinto, S. L. (2000). Producción de las plantas acuáticas lemna minor y Azolla filiculoides y su uso conjuntamente con la harina de pescado en raciones para cerdos. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo, UCV, Maracay, Venezuela.
- Zirschy, j. and Reed, s. (1988). The use of duckweed for wastewater treatment. Journal of water pollution control federation. vol. 60, n° 7. 1253-1258.
- Maclay, c.l. (1976): The effect of ph on the population growth of three species of duckweed: spirodela oligorrhiza, lemna minor and wolffia arrhiza. Freshwater biology n° 6, pp. 125-136.
- Caicedo, J. R., Van der Steen, N. P., and Gijzen, H. J. (2004). the effect of anaerobic pre-treatment on the performance of duckweed stabilization ponds. Disponible: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/pond.pdf> [Consulta : 2010, abril 15].

7. Arroyave, María del Pilar (2004) La lenteja de agua (lemna minor L.): una planta acuática promisoría. Revista EIA - Escuela De Ingeniería De Antioquia, ISSN 1794-1237(1). 33 - 38.
8. Celis Hidalgo, José; Junod Montano, Julio; Sandoval estrada, Marco (2005). recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Revista Theoria, Ciencia, Arte y Humanidades. 14(1). 17 - 25.
9. Waha, B.; H. F. Diara, I. Watanabe and C. Van Hove (2005). Assesment and attempt to explain the high performance of Azolla in subdesertic tropics. Plant Soil, 137(1): 145-150.
10. Silva, J. y A. C. de Queiroz (2004). Determinación de fósforo y calcio inorgánico total. Análisis de alimentos. Métodos químicos y biológicos, Ed. UFV, Universidad Federal de Viscosa, Brasil, pp. 169-224.
11. Caicedo, Julia Rosa (1995). Effects of ammonia, ph and organic matter on growth of spirodela polyrrhiza. International Institute for Hydraulic Infrastructural and Environmental Eng, IHE, Holanda.
12. Rodríguez Pérez, C., Díaz Marrero, M., Guerra Díaz, L., Hernández de Armas, J. M. (1996). Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales. Presentado en: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México, D.F.
13. Obek, E. y Hasar, H (2002). Role of duckweed (lemna minor L.) harvesting in biological phosphate removal from secondary treatment effluents. Fresenius Enviromental Bulletin.11(1), 27 -29
14. Duran, Zulma Lorena (2009). Evaluación del desempeño de un conjunto de lagunas para el tratamiento de las aguas de riego provenientes del canal tibánica. Universidad Nacional De Colombia (Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental).
15. Valderrama, L.T., Campos, C. Velandia, S. y Zapata, N. (2003). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (e. crassipes, lemna sp yl. laevigatum) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. En: memorias del Seminario sobre Métodos Naturales para el tratamiento de aguas residuales y sus implicaciones ambientales y de salud pública. Cali - Colombia.