

**Determinación de la tasa  
relativa de crecimiento de la  
*lemna minor sp* en el  
tratamiento de efluentes de un  
sistema de tratamiento de  
aguas residuales municipales**

---

**Determination of relative  
rate of growth in *lemna minor sp.*  
effluent treatment system municipal  
wastewater treatment**



# Determinación de la tasa relativa de crecimiento de la *lemna minor sp* en el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales<sup>1</sup>

## Determination of relative rate of growth in *lemna minor sp.* effluent treatment system municipal wastewater treatment

Sierra Cuello Lorena F.<sup>2</sup>, Ramírez Hernández Luis Francisco<sup>3</sup>, Rodríguez Miranda Juan Pablo<sup>4</sup>.  
Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia

Artículo recibido en marzo de 2016; artículo aceptado en mayo de 2016

Citación del artículo: Sierra. L, Ramírez. L & Rodríguez, J. (2016). Determinación de la tasa relativa de crecimiento de la *lemna S.P.* en el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales. *I+D Revista de Investigaciones*, 7(1), 91-97.

### Resumen

El presente artículo, establece el crecimiento de las macrofitas *Lemna Minor sp* (conocidas comúnmente como lentejas de agua o Duckweed) en el tratamiento de efluentes de lagunas de estabilización que tratan aguas residuales municipales; los parámetros analizados fueron biomasa, número de frondas y remoción de materia orgánica. Las macrofitas utilizadas en el experimento fueron tomadas de jagüeyes ubicados en las afueras del municipio de Valledupar-Colombia. El montaje se realizó a escala laboratorio y el sistema utilizado fue un reactor tipo batch (flujo discontinuo). El cual mostró los siguientes resultados: la tasa relativa de crecimiento de la *Lemna Minor sp* fue de aproximadamente 0.1595 d<sup>-1</sup>. En este experimento se pudo establecer que el crecimiento de las lentejas de agua está determinado por la adaptación de estas al medio y se vio favorecido por la disponibilidad de nutrientes. Por lo anterior se puede concluir que las *Lemna Minor sp* son una buena alternativa para el tratamiento de efluentes de lagunas de oxidación que tratan aguas residuales domésticas.

**Palabras clave:** Aguas residuales, *Lemna Minor sp*, tratamiento, frondas.

### Abstract

This paper establishes the growth of macrophytes

*Lemnas Minor sp.* (commonly known as Duckweed), in the treatment of effluents of stabilization ponds that treat municipal wastewater; the parameters analyzed were biomass, number of fronds and removal of organic matter. Macrophytes used in the experiment were taken from jagüeyes located on the outskirts of the town of Valledupar, Colombia. The assembly was carried out at laboratory scale and the system used was a type batch reactor (discontinuous flow). Which showed the following results: the relative growth rate of *Lemna minor* was approximately 0.1595 d<sup>-1</sup>. In this experiment it was established that the growth of duckweed is determined by the adaptation of these to the environment and was favored by the availability of nutrients. Therefore it can be concluded that the minor *Lemnas* are a good alternative for the treatment of effluents from oxidation ponds that treat domestic wastewater

**Keywords:** Wastewater, treatment, lemnas s.p.

### Introducción

El tratamiento de aguas residuales ha tenido una evolución significativa en la eliminación de contaminantes, dado que inicialmente se realiza solo la remoción de la DBO<sub>5</sub> y SST, y luego avanzó en la reducción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Rodríguez, 2009) y dentro de ello, se evidenciaron similitudes entre las cinéticas

<sup>1</sup>Artículo de investigación con enfoque: cuantitativo, resultado de un proyecto de investigación terminado, perteneciente al área de Ingeniería Ambiental, tratamiento de aguas residuales. Desarrollado en el grupo de investigación: CIENCIA, AMBIENTE Y TECNOLOGÍA, financiado por la Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia. Con apoyo del grupo de investigación AQUAFORMAT de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<sup>2</sup>Profesora Asistente. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Popular del Cesar. Grupo de investigación: CIENCIA, AMBIENTE Y TECNOLOGÍA. Correo electrónico: [lorenasierra@unicesar.edu.co](mailto:lorenasierra@unicesar.edu.co)

<sup>3</sup>Profesor Asistente. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Popular del Cesar. Grupo de investigación: CIENCIA, AMBIENTE Y TECNOLOGÍA. Correo electrónico: [luisfranciscoramirez@unicesar.edu.co](mailto:luisfranciscoramirez@unicesar.edu.co)

<sup>4</sup>Profesor Asociado. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de investigación: AQUAFORMAT. Correo electrónico: [jprodriguez@udistrital.edu.co](mailto:jprodriguez@udistrital.edu.co)

biológicas para materia orgánica, nitrificación y desnitrificación, las cuales construyen consideraciones fundamentales y concisas para el proceso de dimensionamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales, y además son una base sólida y explicativa de los procesos que tiene el convertir el sustrato en otro elemento o subproducto debido a la actividad biológica (Rodríguez, 2010). Dentro de las posibilidades tecnológicas de eliminación de contaminantes, están los sistemas de lagunaje (lagunas de oxidación) de estabilización los cuales presentan buena remoción de DBO<sub>5</sub> (entre el 80 al 90%) y SST (entre el 85% al 95%), pero en cuanto a los nutrientes como el nitrógeno presenta valores muy bajos (entre el 37 al 48%) y el fósforo (entre el 30 al 45%) (Rodríguez, 2010).

La baja eficiencia de los sistemas de lagunaje puede ser por la proliferación de algas en el efluente, ocasionando problemas estéticos, de salud pública y alteraciones a los ecosistemas existentes, entre otros, por ello, instalar un sistema de pos-tratamiento del efluente puede ser una opción en la optimización de los sistemas de lagunaje, para la remoción de los nutrientes. Una alternativa, pueden ser las lagunas de macrofitas, las cuales son un proceso de bajo costo de mantenimiento y alto rendimiento que producen energía, proteína vegetal de alta calidad y efluentes de bajo costo reutilizables en la agricultura y que requieren áreas de tierra no tan grandes. La utilización de plantas acuáticas o macrofitas, como la lenteja de agua, son altamente productivas y se caracterizan por su amplia distribución y hábitat y por presentar un crecimiento acelerado. Por ello, el propósito del presente artículo es evaluar en reactores tipo batcha escala de laboratorio la capacidad reproductiva y la remoción de materia orgánica de la *Lemna Minor sp* para el tratamiento de efluentes de lagunas de oxidación de aguas residuales domésticas.

### Método

En la fase experimental, se tomó como unidad el efluente de las lagunas anaerobias del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales “El Salguero” de la ciudad de Valledupar, Cesar, Colombia. Como unidad de observación se utilizaron cuatro reactores de 14 L (Figura 1) de capacidad con dimensiones: área superficial de 987,5 cm<sup>2</sup> y 14 cm de altura.

Figura 1. Unidad de Observación



Fuente: Los autores

### 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. El cultivo de las lentejas de agua 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

### Montaje del Sistema

Se utilizaron 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 *Lemna Minor 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 *Lemna Minor 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.

### Análisis Fisicoquímico Del Agua

Durante toda la fase experimental y con el fin de monitorear el comportamiento de las lentejas de agua en los reactores se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, Temperatura y materia orgánica en términos de DQO.

### Análisis Del Crecimiento De la Lemnas minor

El seguimiento del crecimiento de las *Lemna Minor sp* 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; N<sub>t</sub>: Número de frondas al tiempo t; N<sub>0</sub>: Número de frondas al inicio; TRC: Tasa relativa de crecimiento (d<sup>-1</sup>); t: Tiempo en días.

### Resultados y Discusión

#### Curvas de crecimiento

En la tabla 1 se resumen los TRC calculadas para las condiciones del experimento con base en los resultados obtenidos. La tasa relativa de crecimiento (TRC) de las plantas, fue calculada sobre la base del modelo de regresión lineal.

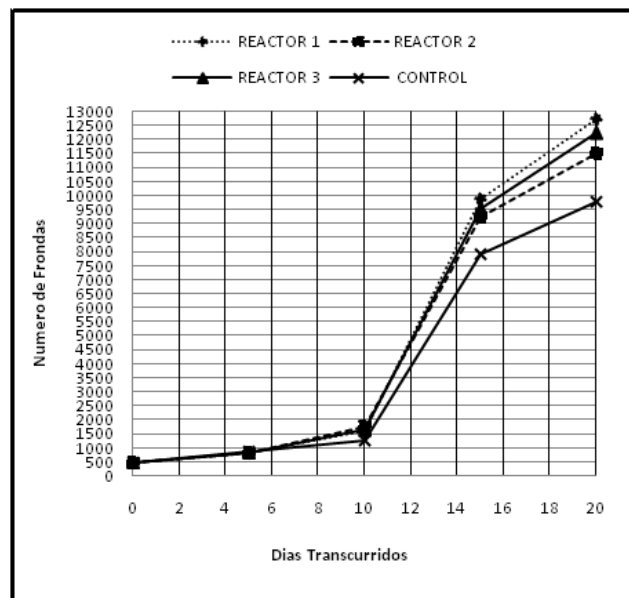
Tabla 1.  
 Tasa relativa de crecimiento

Reactor	Tasa relativa de crecimiento (d <sup>-1</sup> )
Reactor 1	0,1618
Reactor 2	0,1568
Reactor 3	0,1599
Reactor control	0,1456

Fuente: Los autores

En la Figura 2 se puede observar que en el día 10 el número de *Lemna Minor sp* 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). La fase de adaptación de las *Lemna Minor sp* se dio hasta el día cuatro del experimento, a partir de este día comenzó el crecimiento de estas como se puede observar en los resultados obtenidos. En los reactores tratados con aguas del efluente de la laguna anaerobia se pudo observar que presentaron 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 de las lentejas de agua. Se puede apreciar que a partir del día 15 la tasa de crecimiento de la macrofita disminuye, 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.

Figura 2. Curvas de crecimiento de las Lemnas minor en los reactores.



Fuente: Los autores

#### 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 2 resume los pesos de materia fresca y seca obtenidos al final del experimento.

Tabla 2.  
 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

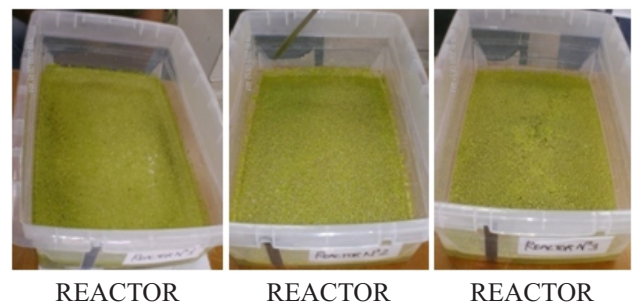
Fuente: Los autores

#### Observación visual

En los primeros cuatro días, durante el proceso de aclimatación de las lentejas de agua, se pudo observar que el color que ellas poseen es un 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 en ellas, pasando del verde amarillento a un verde biche bastante fuerte, se notó un rápido crecimiento y una acelerada reproducción; las nuevas frondas presentaban raíces más cortas.

Pasados los días, se continuó observando la reproducción de las lentejas de agua hasta lograr el completo cubrimiento del área superficial de los reactores, como se muestra en la figura 3.

Figura 3: Condiciones de los Reactores



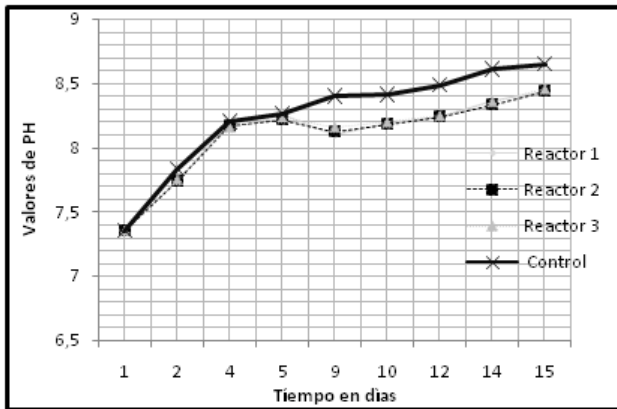
Fuente: Los autores

#### 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) quienes a través de su investigación observaron aumentos del pH en lagunas delentejas de agua en días soleados, comprobando así que un pH alrededor de 10 es posible en lagunas cubiertas con esta planta Maclay (1976), observó que la *Lemna Minor sp* tiene un pH óptimo de 7,0 con rangos de tolerancia inferior y superior de 3 y 10 respectivamente, lo cual es acorde con los resultados de este trabajo (Caicedo, 2004). expone que el aumento gradual en este parámetro puede deberse a procesos de asimilación de materia orgánica por parte de la lentejas de agua la degradación de la misma aportando sedimentos. En la Figura 4 se pueden observar los valores del comportamiento de esta variable en el tiempo.

Figura 4. Variación de los valores del pH en cada reactor



Fuente: Los autores

La Figura 4 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*

Tabla 3. *Análisis de la variación de la temperatura ambiente*

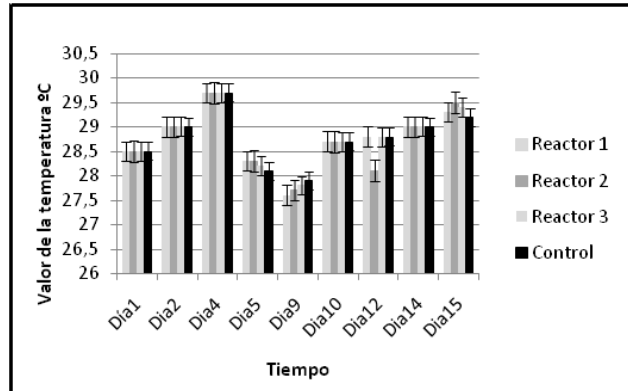
	TEMPERATURA (°C)								
	Día 1	Día 2	Día 4	Día 5	Día 6	Día 10	Día 12	Día 14	Día 15
Ambiente	31	30	30,6	31,9	30,2	29,4	31,2	30,9	31,4

Fuente: Los autores

En la tabla 3 se observa que se presentó una variación de temperatura ambiente entre (29.4 – 31.9). 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 *Lemna Minor sp*, como lo expresa Arroyave (2004) quien expone que el rango de temperatura que garantiza el crecimiento de la lenteja de agua se encuentra entre 5-30°C. La variación de la temperatura en cada reactor durante la experimentación se presenta en la Figura 5, la cual están entre 27.6 – 29.7, alcanzándose una diferencia de 2.1 °C durante el proceso.

Figura 5. Valores de la temperatura en cada reactor.

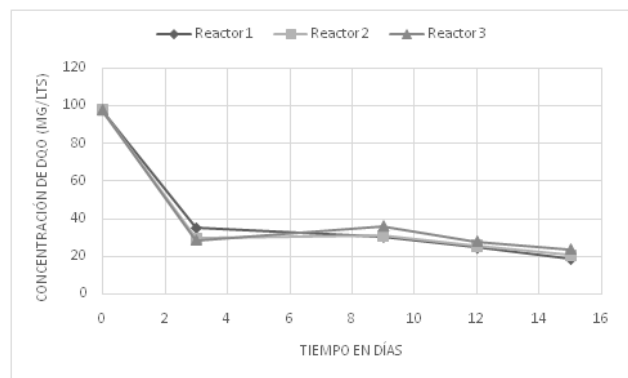


Fuente: Los autores

*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 60 mg/l en los reactores que contenían *Lemna Minor sp* y un 40%, aproximadamente, en el reactor control. Al final del experimento los resultados obtenidos fueron de 80.92 % (78.9 mg/l) en el reactor 1, 78.97% (77 mg/l) en el reactor 2, 75.69 % (73.8 mg/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, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Variaciones de concentración de DQO



Fuente: Los autores



### Conclusiones

La tasa de crecimiento de la *Lemna Minor sp* está determinada por la disponibilidad de nutrientes por lo tanto se puede establecer que estos son esenciales para su crecimiento y reproducción. Por lo cual los reactores donde se inoculó la macrofitas presentaron mayor remoción en terminos de DQO comparados con el control, dada las condiciones reales de adaptividad de la macrofitas con respecto a los nutrientes presentes en el agua residual efluente.

El sistema de *Lemna Minor sp* en este trabajo presentó un pH de 7.35 a 8.44 un rango de pH básico, lo que muestra que este sistema presenta una buena capacidad para asimilar carga orgánica, lejano de la curva de decaimiento del sistema.

La tasa relativa de crecimiento encontrada fue aproximadamente similar ( $0.1560 d^{-1}$ ) en los reactores evaluados, lo cual significa que existe una degradación rápida de los contaminantes cuando se tiene una planta acuática, es decir, existe una alta dependencia de la temperatura del agua, pH, nutrientes y el tipo de consorcio microbiano presente, así como una corrección dada por la energía requerida para el gasto de estabilización de la materia orgánica, nitrificación y desnitrificación que es denominado decaimiento endógeno dentro del sistema.

### Referencias

Arroyave, María del Pilar. (2004). La lenteja de agua (*lemna minor l.*): una planta acuática promisoría. *Revista ELA - Escuela De Ingeniería De Antioquia*, ISSN 1794-1237(1), pp. 33 - 38.

Cabrera, Miguel. (2003). Evaluación física química y biológica del desarrollo de las lagunas duckweed en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la troncal. Presentado en: X Congreso Bolivariano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Guayaquil, Ecuador.

Caicedo G., Mahbubar R., Kelderman P. (1994). Performance of full- scale duckweed – covered sewage lagoon. In. press.

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].

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.

Cárdenas de Flores, Carmen H; Perruolo, Tomás; Tärre, Yolima; Flores, Keillen. (2000). Eliminación biológica de nitrógeno y fósforo de aguas residuales domésticas. Centro

de Investigación del Agua Ciudad Universitaria- Universidad del Zulia., Lagunas de Oxidación.

Celis H., J., Junod M. J., Sandoval E. M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Revista Theoria, Ciencia, Arte y Humanidades*. 14(1), pp.17–25.

Cortes, Luís Enrique. (2007). Efecto de una zona aerobia y alimentación intermedia en la remoción de nitrógeno de lagunas Duckweed en serie. Universidad del Valle, Cali.

Duran, Zulma Lorena. (2009). Evaluación del desempeño de un conjunto de lagunas para el tratamiento de las aguas de riego provenientes del canal tibanica. Universidad Nacional De Colombia (Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental).

Edwards P, Hassan M, Chao C, Pacharaprakiti C. (1992). Cultivation of duckweed in septage – ponded earthen ponds. *Tour. Bioresource Tech.* 40, pp. 10 – 117.

Espinosa Jiménez, Carlos F. (27-31 de octubre 2002). Desempeño de un sistema experimental de lagunas duckweed en serie con y sin pretratamiento anaeróbico. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México.

Gironi, Enir; Reis; Bergesch, Marli. (2005). Módulo 2: abordajes convencionales e innovadores para la gestión de efluentes líquidos municipales. Gironi, Enir; Reis; Bergesch

Gutiérrez Gómez, Karla Lorena. (2000). Potencial de la planta acuática *lemnagibba* en la alimentación de cerdos. Tesis Mag. Ciencias Pecuarias. Colima, Univ. De Colima, Postgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias. 70 p.

Hillman W., Culley D. (1978). The use of duckweed. *Amer. Scien*, 66, 442-451.

Koles S, Petrell R, Bagnall L. (1987). Duckweed culture for reduction of ammonia, phosphorus and suspended solids from algal – rich water. In aquatic plants for water treatment and resource recovery (K.R. Reddy K. y W. H. Smith, ed.), pp. 769 – 774. Magnolia Publishing inc. Orlando, FL.

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.

Marli (Eds.) (2012), course report - improving municipal wastewater management in coastal cities, pp. 67-111. United Nations Environment Programme (UNEP). Puerto Madryn, Argentina.

Metcalf y Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales vol. 1: Tratamiento, Vertido Y Reutilización. 3ra Edición. Madrid: Mc Graw Hill, pp. 17–51, 53–135, 137–166.

Obek, E. y Hasar, H. (2002). Role of duckweed (*lemna minor* l.) harvesting in biological phosphate removal from secondary treatment effluents. Fresenius Environmental Bulletin. 11 (1), 27-29.

Oporto, Carlos; Arce, Omar; De Pauw, Neils; Van den Broeck, Erick.(2001).Evaluación del potencial de *lemna minor* para la remoción de cr (vi) de aguas residuales.Revista Ecología y Conservación Ambiental. 1(10), pp.17–27.

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.

Reddy K, Bush W. (1985) Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes. J. Environm. Qual, 14(4), pp. 459-462.

Rodríguez C. *et al* (1992). Determinación de los parámetros de operación de canales para la depuración de las aguas residuales mediante el jacinto de agua. Informe Técnico a la Academia de Ciencias de Cuba.

Rodríguez Miranda Juan Pablo. (2009). Selección técnico-económica del sistema de depuración de aguas residuales: aplicando la evaluación de la descontaminación hídrica. Revista Tecnología del agua. Vol 29. Num 306, pp.22–31.

Rodríguez Miranda Juan Pablo. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. Revista tecnología y ciencia del agua. Vol 1, Num 1. Enero –marco, pp. 59-68.

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.

Santamaría L, Días C, Hootsmans M. (1994). The influence of ammonia on the growth and photosynthesis of *ruppia drepanensis* tinea from donana nacional park (SW Spain). Hydrologia, 275/276, 219-231.

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.

Sooknah RD, Wilkie AC. (2004). Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. Ecological Engineering 22, pp. 27-42.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1996) 19 Ed. APHA and AWWA.

Tchobanoglous G. (1987). Aquatic plant systems for wastewater treatment: engineering consideration. In aquatic plants for water treatment and resource. Recovery, Orlando F.L., p.p 1031.

Tchobanoglous G. *et al* (1986). Evaluation and performance of city of San Diego pilot scale. Aquatic wastewater treatment systems using water hyacinth. In 60th Annual Conference of the WPCF, Philadelphia. PA.

Valderrama, L.T., Campos, C. Velandia, S. y Zapata, N. (2003). 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. En: memorias del Seminario sobre Métodos Naturales para el tratamiento de aguas residuales y sus implicaciones ambientales y de salud pública. Cali – Colombia.

Zirschy, j. and Reed, S. (1988). The use of duckweed for wastewater treatment. Journal of water pollution control federation. vol. 60, n° 7, pp.1253-1258.