

# Evaluación del postratamiento de aguas residuales municipales mediante la utilización de macrofitas como las *lentejas de agua (lemma minor)* en lagunas de estabilización\*.

Evaluation of municipal wastewater pos-treatment using macrophytes as duckweed (*Lemma minor*) in stabilization ponds\*.

Avaliação do pos-tratamento de efluentes municipais utilizando macrófitas como lentilha (*Lema menor*) em lagoas de estabilização\*

Lorena Felicia Sierra Cuello \*\*  
Luis Francisco Ramírez Hernández \*\*\*  
Juan Pablo Rodríguez Miranda \*\*\*\*

Universidad Popular del Cesar - Colombia  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia

Fecha de Recibido: Enero 24 del 2017  
Fecha de Aceptación: Marzo 03 de 2018  
Fecha de Publicación: Abril 01 de 2018  
DOI: <http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v10i2.434>

\*El artículo resultado de la investigación "Evaluación del postratamiento de aguas residuales municipales mediante la utilización de macrofitas como las lentejas de agua (*lemma minor*) en lagunas de estabilización".

\*\*Magister en Ciencias ambientales, Ingeniera ambiental. Filiación: Universidad Popular del Cesar. correo electrónico: [lorenasierra@unicesar.edu.co](mailto:lorenasierra@unicesar.edu.co) Orcid ID <https://orcid.org/0000-0001-7525-648X>

\*\*\*Magister en ingeniería sanitaria y ambiental, Ingeniero Civil. Filiación: Universidad popular del Cesar. Correo electrónico: [luisfranciscoramirez@unicesar.edu.co](mailto:luisfranciscoramirez@unicesar.edu.co) Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-5334-0506>

\*\*\*\*Doctor en Ingeniería, magister en Ingeniería Ambiental, Ingeniero sanitario y ambiental. Filiación: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: [jprodriguez@udistritaledu.co](mailto:jprodriguez@udistritaledu.co) Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-3761-8221>

## Resumen

El presente artículo, tiene el propósito de determinar la utilidad de la lenteja de agua (*lemma minor*) como postratamiento en lagunas de estabilización que tratan aguas residuales domésticas, fue analizada una muestra de agua residual proveniente del efluente de la laguna anaerobia del sistema de tratamiento de aguas residuales el Salguero de Valledupar-Cesar; la muestra fue inoculada con las lentejas de agua, las cuales fueron tomadas de reservorios ubicados en las afueras del Municipio en mención. Se realizó el montaje empleando un sistema tipo batch a escala laboratorio con tres replicas y dos controles los parámetros analizados fueron nutrientes (nitrógeno y

fósforo). La remoción de nutrientes fue: 72% P y 95% N. Se pudo establecer que las lentejas de agua presentan una buena eficiencia en relación a la remoción de nutrientes.

**Palabras clave:** Aguas residuales, *Lemna minor*, pos-tratamiento, remoción.

### Abstract

This paper is intended to determine the usefulness of duckweed (*Lemna minor*) and after treatment in stabilization ponds that treat domestic wastewater was analyzed a sample of water from wastewater effluent from the anaerobic lagoon treatment system Salguero wastewater the Valledupar-Cesar; the sample was inoculated with duckweed, which were taken from reservoirs located on the outskirts of the municipality in question. Assembly was performed using a batch type laboratory scale system with three replicates and two control parameters were analyzed nutrients (nitrogen and phosphorus). Nutrient removal was 72% and 95% N. P was established that duckweed have good efficiency regarding nutrient removal.

Keywords: Malaria, Tumaco, Optimal Control Problem, Economic Analysis.

### 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 DBO5 y SST, y luego avanzó en la reducción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Rodríguez, 2009; Vínicius, 2015) y dentro de ello, se evidenciaron similitudes entre las cinéticas 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 DBO5 (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%).

La baja eficiencia de los sistemas de lagunaje y para solucionar el problema de la carga orgánica que queda en el efluente luego de pasar por el sistema lagunar, es necesario diseñar y aplicar tecnologías limpias, económicamente viables, de fácil implementación y que utilicen materiales naturales (Gijzen & Ikramullah, 1999; Carvalho, 2011). Este es el caso de las llamadas lagunas de macrofitas, en las cuales se emplean plantas acuáticas como la lenteja de agua poseedoras de una gran capacidad de absorción de nutrientes, bioacumulación de contaminantes de las aguas, que cuentan con una alta productividad, una alta predominancia en condiciones naturales adversas; convirtiéndolas en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales (Zirscky y Reed, 1988; Skillicorn et al., 1993; Oron, 1994). La investigación buscó determinar la viabilidad de la lenteja de agua como pos tratamiento de efluentes de lagunas de estabilización que tratan aguas residuales domésticas

### 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. Se tomó como unidad experimental el efluente de las lagunas anaerobias del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales "El Salguero" en Valledupar-Cesar. Como unidad de observación se utilizaron cuatro recipientes plásticos de 14 L de capacidad con un área superficial de 987,5 cm<sup>2</sup> y 14 cm de altura.

**Muestreo.** Para la experimentación de este trabajo se tomaron muestras del efluente de las lagunas anaerobia No 6 del SSTAR "El Salguero" del Municipio de Valledupar-Colombia. 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. El muestreo del agua durante el trabajo experimental se realizó en el periodo de 7:00 am a 4:00 pm; debido a que en este lapso de tiempo la radiación solar es mayor lo que aumenta la temperatura dentro de las lagunas, contribuyendo al mejor crecimiento y actividad de las bacterias metanogénicas (Albor, et.al, 2016, Byttebier, Fischer & Torres, 2012), lo

que no se puede observar en las demás horas del día.

**Montaje Del Sistema.** Como unidad de observación se utilizaron cinco recipientes plásticos de 14 L de capacidad con un área superficial de 987,5 cm<sup>2</sup> y 14 cm de altura (reactores); los reactores 1, 2 y 3 (replicas) 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 de crecimiento mientras el reactor 5 (control) se empleó para el análisis fisicoquímico.

**Análisis Fisicoquímico del Agua.**

Durante toda la fase experimental y con el fin de monitorear el comportamiento de la *lemna sp.*, en los reactores se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: Nitrógeno total kjendalh (NTK) y Fósforo. Cada uno de los análisis se realizó según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1996. La muestra de agua del efluente de la laguna anaerobia, fue analizada antes de inocular los reactores con el fin de obtener los datos iniciales para medir el porcentaje de remoción en cada uno de los reactores.

**Resultados**

**Análisis fisicoquímico.**

Los datos obtenidos en la caracterización inicial realizada al agua residual muestreada antes de ser llevada a los reactores 1, 2, 3 y 4; fueron tomados como referencia para medir la remoción de nutrientes (tabla 1).

Tabla 1.

Caracterización del Agua Residual afluente Laguna Anaerobia

Parámetro	Unidad	Valores
Fosforo total	mg/l	44.94
Fosforo soluble	mg/l	4.77
Nitrógeno Total Kjendalh	mg/l	59.63

Fuente: Autores

**A. Determinación del Nitrógeno Total Kjendalh.**

Los porcentajes de remoción de cada uno de los reactores fueron: 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, estos valores evidencian que dicha remoción supera el 80%, observándose mayor remoción en el reactor 1; en este reactor se presentó el mayor crecimiento del Duckweed, por lo que se ratifica que la capacidad de asimilación y estabilización de los nutrientes en términos de nitrógeno por parte del Duckweed y además, está directamente relacionada con la velocidad de crecimiento, la población establecida y la composición del tejido de las plantas (Waha, et.al., 2005). Las lagunas con plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, se basan en principios ecosistémicos e hidráulico, 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 (Silva, y Queiroz, 2004; Ocaña y Sánchez, 2016).

El comportamiento del nitrógeno total Kjendalh en cada uno de los reactores nos muestra que hay remoción de este nutriente (Figura 1); la mayor parte de los elementos asimilados puede deberse a la absorción de los compuestos nitrogenados por parte de la macrofitas. 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 macrofitas (control) 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%.

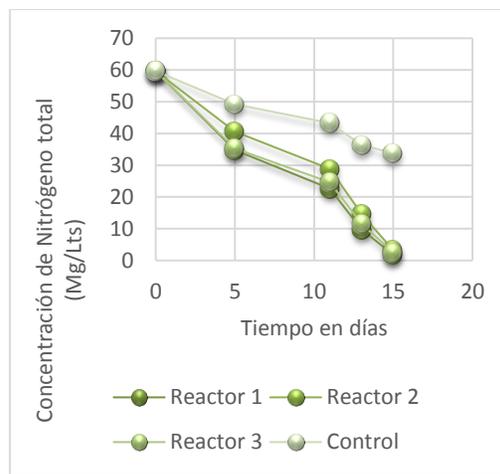


Figura 1. Variaciones en las concentraciones de

nitrógeno total. Fuente: Autores

B. Determinación de Fósforo Total.

Investigaciones muestran que la remoción de nitrógeno total kjendalh en lagunas Duckweed se presenta de forma gradual en relación a los días transcurridos, a partir del análisis de comportamiento de este parámetro en líneas continuas de 7 estanques, con tiempo de retención de 3 días en cada uno, se demostró que la disminución de NTK es debida mayormente a la incorporación en la biomasa vegetal (Caicedo, 1995; Ahmad, et. al., 2016). Lo cual confirma los resultados en cuanto a remoción de nitrógeno obtenidos en esta investigación. 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 13.85 mg/L en el reactor 1; 11.82 mg/L en el reactor 2; 12.05 mg/l en el reactor 3 y 37.44 mg/l en el control (Figura 2). Los resultados de este experimento evidencian que la remoción del fósforo en los reactores puede deberse a la acumulación del mismo en los sedimentos y a la filtración del fósforo por parte de la planta. 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 (Rodríguez, Díaz, Guerra, Hernández, 1996).

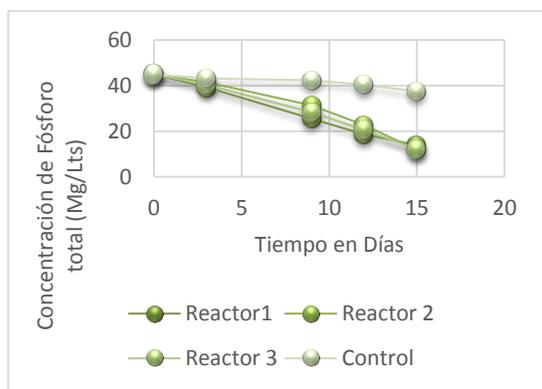


Figura 2. Variaciones de las concentraciones de fósforo total. Fuente: Autores.

Se pudo determinar que las macrofitas en estudio (lemnas sp.) presentaron una remoción efectiva 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%. En estudios anteriores realizados con la lemna sp la concentración de fósforo pudo ser reducida de 15 mg/lt a 0,5 mg/lt al final de un periodo de 8 días (Duran, 2009). Con este estudio queda demostrado que la lemna sp puede remover fósforo eficientemente si se cosecha frecuentemente, estas plantas para su desarrollo necesitan altas cantidades de fósforo mejorando la calidad del agua (Obek, y Hasar, 2002; Caicedo, 2007).

Conclusión

El sistema de *lemna sp* es eficaz para la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en efluentes de lagunas de estabilización que tratan aguas residuales domésticas. Las lentejas de agua, son una buena alternativa para la depuración de las aguas residuales domésticas, pudiendo eliminar grandes cargas de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Además de las ventajas de orden económico y de implementación; por ser tecnologías 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.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las Universidad Popular del Cesar y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Ahmad, K., Qureshi, Q., Agoramoorthy, G., & Nigam, P. (2016). Habitat use patterns and food habits of the kashmir red deer or hangul (*cervus elaphus hanglu*) in dachigam national park, kashmir, india. *Ethology Ecology and Evolution*, 28(1), 85-101. doi:10.1080/03949370.2015.1018955

Albor-Pinto, C., Ortiz-Díaz, J. J., Palma-Pech, G., & Tun-Garrido, J. (2016). First record of *schultesia heterophylla* (gentianaceae) in the yucatán peninsula. [Primer registro de *Schultesia*

heterophylla (Gentianaceae) para la península de Yucatán] *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 87(2), 508-511. doi:10.1016/j.rmb.2016.04.012

Arce, G. O., y Caicedo J. R. (2010). Efectos del amonio y del pH sobre el crecimiento de la spirodela polyrrhiza cultivado en efluentes de reactores UASB. *Bol. Ecol.* 8. 17 - 23.

Byttebier, B., Fischer, S., & Torres, P. L. M. (2012). Seasonal dynamics of larvae and adults of two enochrus thomson (coleoptera: Hydrophilidae) species in temporary and permanent water bodies of an urban park in buenos aires. *Revista Chilena De Historia Natural*, 85(3), 281-289

Caicedo, J. (1995). *Effects of ammonia, ph and organic matter on growth of spirodela polyrrhiza. International Institute for Hydraulic Infrastructural and Environmental*. Holanda: Eng, IHE

Carvalho-Saucedo, L., López-Martínez, J., García-Domínguez, F., Rodríguez-Jaramillo, C., & Padilla-Serrato, J. (2011). Reproductive biology of the cannonball jellyfish stomolophus meleagris in las guasimas lagoon, sonora, mexico. [Biología reproductiva de la medusa bola de cañón Stomolophus meleagris en la laguna las Guásimas, Sonora, México] *Hidrobiologica*, 21(1), 77-88.

Gijzen H.J. y Ikramullah M. (1999). *Pre-feasibility of duckweed-based wastewater treatment and resource recovery in Bangladesh*. Washington D. C: World Bank Report.

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.

Ocaña-Luna, A., & Sánchez-Ramírez, M. (2016). Structure of the ichthyoplankton community in tamiahua lagoon, veracruz, mexico. [Estructura de la comunidad ictioplanctónica en la laguna de Tamiahua, Veracruz, México] *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 87(1), 123-132. doi:10.1016/j.rmb.2016.01.018

Oron G. (1994). Duckweed culture for wastewater renovation and biomass production. *Agricultural Water Management*. 26, 27-40.

Rodríguez Miranda, J. P. (2009). Selección técnico-económica del sistema de depuración de aguas residuales: aplicando la evaluación de la descontaminación hídrica. *Revista Tecnología del agua*. 29(306). 22 – 31.

Rodríguez Miranda, J. P. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Revista tecnología y ciencia del agua*. 1(1). 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*. México, D.F: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental,.

Silva, J. y A. C. de Queiroz (2004). *Determinación de fósforo y calcio inorgánico total. Análisis de alimentos. Métodos químicos y biológicos*, Brasil : Ed. UFV, Universidad Federal de Viscosa. 169-224.

Vinicius da Luz, L., Carlos Ferreira da Silva, A., Laughinghouse, H. D., Bosio Tedesco, S., & Paula Durand Coelho, A. (2015). Cytogenetic characterization of schinus terebinthifolius raddi (anacardiaceae) accessions from rio grande do sul state, brazil. *Caryologia*, 68(2), 132-137. doi:10.1080/00087114.2015.1032573

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.

Zirschky J. and Reed S. (1988). The use of duckweed for wastewater treatment. *Jour. of Wat. Poll. Cont. Fed.* 60 (7), 1253-1258.