

Evaluación del uso de *Landoltia punctata* a escala mesocosmos en el tratamiento complementario de aguas residuales proveniente de sistema RBC a escala laboratorio

Evaluation of the use of *Landoltia punctata* on a mesocosm scale in the complementary treatment of wastewater from a laboratory-scale RBC system

Shaun Patrick McGahan^{1,5}, Tomás López¹, Pablo Heleno Sezerino², Francisco Ferreira³, Leonida Medina³ & Rodrigo Mohedano⁴

¹ Universidad Nacional de Asunción, Departamento de Biotecnología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. San Lorenzo, Paraguay.

² Universidad Federal de Santa Catarina, Grupo de Estudios en Saneamiento Descentralizado (GESAD). Florianópolis, SC, Brasil.

³ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Química. San Lorenzo, Paraguay.

⁴ Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC, Brazil

⁵ Autor correspondiente: smcgahan@facen.una.py.

Resumen: La descarga de contaminantes de origen antropogénico con presencia de nutrientes como Nitrógeno (N) y fósforo (P), pueden, desencadenar la eutrofización de cuerpos de agua, debido a que el exceso de nutrientes causa un desequilibrio en ecosistemas acuáticos. La implementación de sistemas de tratamiento basados en procesos biológicos surge como una alternativa económicamente rentable, con la posibilidad de generar subproductos de valor agregado en el proceso. En el presente trabajo se evaluó la aplicabilidad del uso de la lenteja de agua en el tratamiento complementario de efluentes provenientes de sistemas Reactores Biológicos Rotativos de Contacto (RBC) con el objetivo de reducir la concentración de nutrientes y generar biomasa enriquecida. Se trabajó con agua residual sintética tratada inicialmente en un sistema RBC a escala laboratorio, el efluente de posteriormente se utilizó para el crecimiento durante 96 horas de la especie *Landoltia punctata*, a escala mesocosmos. Los resultados indican que se obtuvieron porcentajes de remoción superiores a 50% y 70% para el N-NH₃ y PO₄ respectivamente. En cuanto a la valorización de la biomasa generada poscosecha de *L. punctata*, el porcentaje de proteínas totales en promedio fue de 29,2% y para lípidos totales se obtuvo en promedio 9,8%. Los resultados obtenidos indican la aplicabilidad de la especie *L. punctata* para el pulido de efluentes, demostrando su eficacia en la remoción de nutrientes y en la generación de biomasa con alto valor nutritivo pudiendo ser implementadas en nutrición animal.

Palabras claves: eutrofización, RBC, *Landoltia punctata*, remoción, biomasa, proteínas.

Abstract: The discharge of pollutants of anthropogenic origin with the presence of nutrients such as Nitrogen (N) and phosphorus (P), can trigger the eutrophication of bodies of water, due to the fact that excess nutrients cause an imbalance in aquatic ecosystems. The implementation of treatment systems based on biological processes emerge as an economically profitable alternative, with the possibility of generating value-added by-products in the process. In the present work, the applicability of the use of duckweed in the complementary treatment of effluents from Rotary Contact Biological Reactors (RBC) systems was evaluated with the aim of reducing the concentration of nutrients and generating enriched biomass. We worked with synthetic wastewater initially treated in a laboratory-scale RBC system. The effluent was subsequently used for the 96-hour growth of the *Landoltia punctata* species, on a mesocosm scale. The results indicate that removal percentages higher than 50% and 70% were obtained for N-NH₃ and PO₄ respectively. Regarding the valuation of the biomass generated postharvest of *L. punctata*, the percentage of total proteins on average was 29.2% and for total lipids it was obtained on average 9.8%. The results obtained indicate the applicability of the species *L. punctata* for the polishing of effluents, demonstrating its effectiveness in the removal of nutrients and in the generation of biomass with high nutritional value, which can be implemented in animal nutrition.

Key words: eutrophication, RBC, *Landoltia punctata*, enriched biomass, proteins.

Recibido: 05/03/2021 Aceptado: 30/03/2021



Introducción

Toda actividad humana tiene asociada una generación de aguas residuales que deben ser sometidas a un tratamiento que garantice la continuidad del ciclo de consumo del recurso (Fernández González *et. al.* 2000; Martelo & Lara, 2012).

La eliminación de nutrientes de las aguas residuales es uno de los mayores desafíos para las plantas de tratamientos, en donde la mayoría de los sistemas de tratamientos están diseñados en función de la carga orgánica, por lo que a menudo se descuidan las eliminaciones de nitrógeno y fósforo (Metcalf & Eddy Inc., 2013).

Los reactores biológicos rotativo de contacto (Rotating Biological Contactor o RBC por sus siglas en inglés) o Biodiscos, son sistemas de tratamiento de aguas residuales basadas en biopelícula que se forman en las superficies de los discos, su bajo costo operativo y estructura simple son algunas de las ventajas que presenta este sistema, aparte de una pequeña huella ecológica, siendo ampliamente utilizados para la estabilización de la materia orgánica y eliminación de nitrógeno principalmente (Alemzadeh *et. al.* 2002; Hewawasam *et. al.* 2018).

La eliminación de nutrientes a través de sistemas convencionales, generan gastos de energía y económica al agregar agentes químicos para disminuir nutrientes, situación que es planteada y aplicada en zonas urbanas, no así en zonas rurales o municipios pobres (Kneese *et. al.* 2015). El exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno antropogénico (N) y fósforo (P), es una de las principales causas de eutrofización en los cuerpos de agua. La necesidad de reducir los nutrientes antropogénicos en los ecosistemas acuáticos para prevenir la eutrofización del agua ha sido ampliamente reconocida (Conley *et. al.* 2009; Liu *et. al.* 2017).

Las lentejas de agua, son pequeñas macrófitas flotantes que tienen la alta capacidad de remoción de nutrientes disueltos del agua, como compuestos nitrogenados y fosforados, así como para reducir materia orgánica y sólidos suspendidos (Landolt and Kandeler, 1987; Skillicorn *et. al.* 1993; Alaerts *et. al.* 1996). Una de las ventajas más aprovechables de este grupo de macrófitas sobre otras utilizadas

en el tratamiento de efluentes es la generación de biomasa de alto valor nutricional, que alcanza en algunos casos niveles de proteínas totales (PT) de más de 40% (Cheng *et. al.* 2002). Debido a esto, además de reducir el nivel de contaminantes y carga orgánica de los efluentes, el uso de lenteja de agua puede generar una biomasa rica en proteína, minimizando costos en ración animal, y generando ahorro de costos en la producción animal.

En los últimos años, la taxonomía de este grupo de macrófitas flotantes ha experimentado algunos cambios, solían pertenecer a la familia *Lemnaceae*, pero actualmente están enmarcadas en la subfamilia *Lemnoideae* dentro de la familia *Araceae*, con aproximadamente 40 especies en 5 géneros (APG II, 2003).

Entre las especies de lentejas de agua, no todas son efectivas en el tratamiento de efluentes y para la producción de proteínas. Luego de la evaluación de 41 especies de lenteja de agua, aisladas geográficamente para determinar la especie con mayor potencial en el tratamiento de desechos porcinos y en la producción de proteínas se demostró que la especie *Landoltia punctata* era la ideal y la que cumplía con los criterios Bergmann *et. al.* (2000). Varios investigadores han realizado estudios sobre el uso potencial de la lenteja de agua en el tratamiento de aguas residuales, especialmente para la eliminación de nutrientes.

Debido a estos antecedentes, surge la necesidad de desarrollar sistemas alternativos de pulido de aguas residuales con el fin de reducir la carga de nutrientes antropogénicos y obtención de biomasa valorizada rica en proteínas.

Materiales y métodos

Sistema de tratamiento mediado por Reactores Biológicos Rotativos de Contacto

El sistema RBC fue construido para operar con un caudal (Q) de 55 L/d, con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de aproximadamente 3,5 horas, en la Tabla 1 se muestra las especificaciones técnicas y variables teóricas asumidas para la construcción (Ayala, 2016). Los RBC poseen una serie de discos que están parcialmente sumergidos en el agua

Tabla 1. Especificaciones técnicas y variables teóricas asumidas para la construcción (Fuente: Ayala, 2016).

Características	Valor
Área total de formación de biopelícula	0,85 m ²
Cantidad de discos	14
Número de etapas	2
Caudal de trabajo	55 L/d (38 mL/min)
DBO ₅ del afluente (de diseño)	350 g/m ³
DBO ₅ del efluente (de diseño)	40 g/m ³
Volumen efectivo del reactor	8 L
TRH	3,5 h
Carga orgánica aplicada	15,27 g DBO ₅ m ² .d
Velocidad de giro del eje	8,5 rpm

residual los mismos fueron construidos en acrílico transparente, esquematizados en la Fig. 1.

Laguna de *Landoltia punctata* a escala mesocosmos

Para el período de adaptación, se utilizaron ejemplares de lentejas de agua (*L. punctata*) del cultivo stock mantenido en el invernáculo del Departamento de Biotecnología, las mismas fueron colectadas de zonas naturales, específicamente del Banco San Miguel en la costanera de la Ciudad de Asunción (agregar ubicación geográfica). La biomasa utilizada se dispuso en frascos (Fotobiorreactores) con una capacidad máxima de 3 litros, que fueron utilizados como unidades experimentales para el desarrollo del experimento (Fig. 2). Las dimensiones de los mismos fueron claves para conocer el área a ser

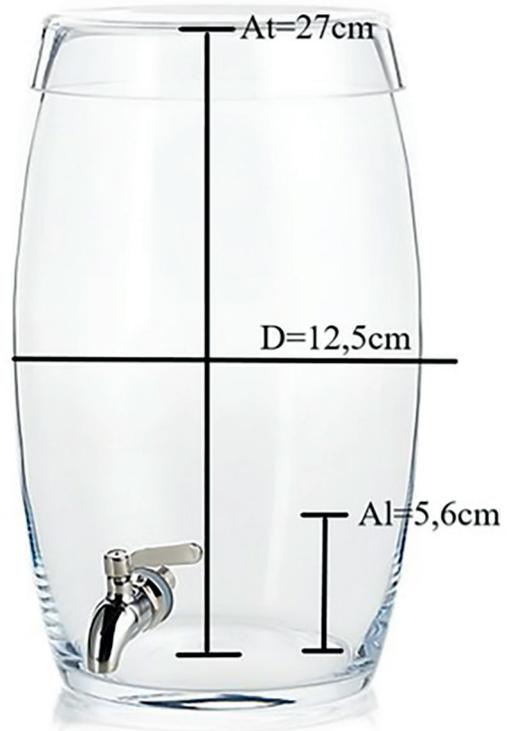


Figura 2. Dimensiones del FBR, Altura total ($A_t=27$ cm), diámetro ($D=12,5$ cm) y altura del líquido (5,6 cm).

dispuesto por las macrófitas a ser empleadas (1.225 cm², que corresponde a 8 g. de biomasa fresca). Las dimensiones del FBR se muestran en la Tabla 2. Cada FBR fue cargado con 600 mL de efluente previamente depurado tratado en el sistema RBC.

Control de calidad de efluentes

Se utilizó agua residual sintética (ARS), sugerido por Metcalf y Eddy Inc. (1991), para ser introducido al sistema RBC. Se procedió a realizar la medida de los parámetros como pH, temperatura,

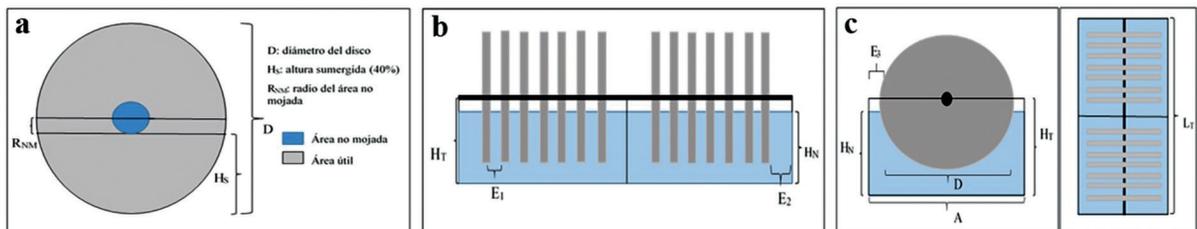


Figura 1. Plano del Reactor Biológico de Contacto. a. plano frontal de los discos. b. Perfil del sistema c. Frente y superior del sistema (Fuente: Ayala, 2016).

Tabla 2. Dimensiones del FBR utilizado en el ensayo.

Características	Valor
Altura externa	0,27 m
Altura interna	0,25 m
Diámetro interior	0,125 m
Área superficial interno	0,123 m ²
Altura del líquido	0,056 m

oxígeno disuelto, así como nitrógeno amoniacal y ortofosfato a la entrada y salida del sistema RBC. Los mismos parámetros fueron registrados en los fotobiorreactores con *L. punctata*. Esto se realizó a efectos de observar la variación de los parámetros y control de los nutrientes en estudio. Los parámetros se midieron con un equipo multiparamétrico TOA DKK y los análisis fisicoquímicos del ARS que se realizaron fueron el Método de la Nesslerización, para nitrógeno amoniacal y el Método colorimétrico del Ácido Vanadato Molibdato-Fosfórico para ortofosfato (Clesceri *et al.*, 1999).

Monitoreo de biomasa

Posterior al periodo de adaptación, se dispuso 8 g de biomasa húmeda, la misma fue implementada debido a que cubría en su totalidad el área superficial del FBR utilizado. Se procedió a pesar 6

muestras de biomasa húmeda, 3 fueron utilizadas y expuestas al efluente proveniente del sistema RBC, y 3 fueron llevadas a la estufa a 60 °C por 24 horas de manera a tener un control de peso seco inicial pre tratamiento. La biomasa dispuesta y expuesta al efluente proveniente del sistema RBC, fue tratada de la misma forma que la biomasa inicial, una vez finalizado el ensayo. Los datos de los monitores de biomasa se presentan en la tabla 4.

Evaluación de la biomasa generada

La biomasa inicial y biomasa post tratamiento, fueron evaluadas de manera a conocer el porcentaje de proteínas totales y lípidos totales. Esta comparación fue muy importante para saber si existe diferencia en cuanto al tenor de las biomásas post tratamiento, y si será viable la implementación de esta biomasa generada como producto de alto valor nutricional. La determinación de proteínas totales se realizó mediante el Método de Kjendall modificado a partir del cual se obtuvo la cantidad de nitrógeno total contenido en la biomasa y luego a partir de un factor de conversión proporcionado por Tacon para la FAO (1987) y García & Fernández (2012), se obtuvo el porcentaje de proteínas totales. La determinación de lípidos totales se realizó mediante extracción con hexano. Los resultados de la evaluación se presentan en la Tabla 5.

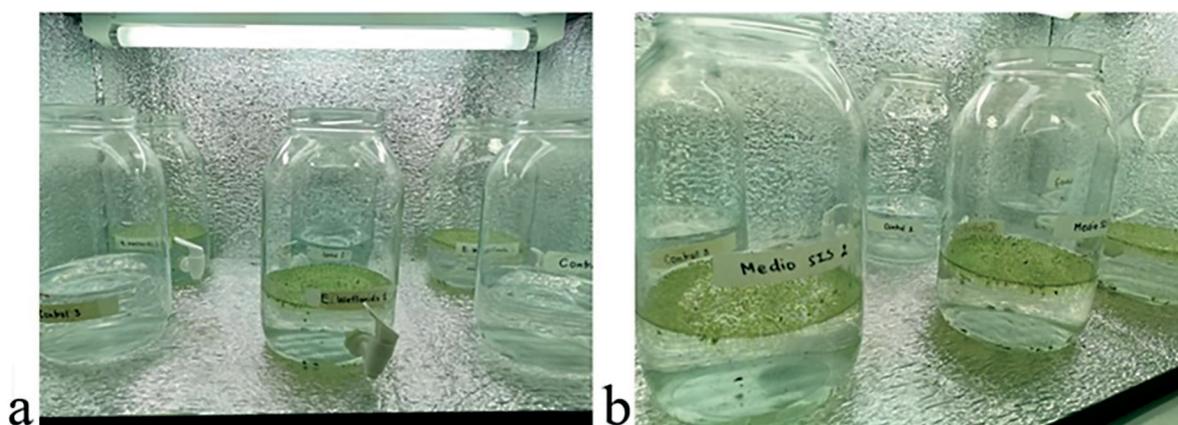


Figura 3. Fotobiorreactores utilizados en los ensayos, distribuidos de forma aleatoria. a. vista frontal de la incubadora junto con el sistema de iluminación, b. vista en diagonal de la incubadora con los FBR.

Diseño experimental

En una incubadora con fotoperiodo (14/10hs de luz/oscuridad) se dispusieron de forma aleatoria 6 FBRs, 3 correspondientes al control, que contenía 600mL de ARS proveniente del sistema RBC y 3 correspondientes al tratamiento, que contenía 600mL de ARS proveniente del sistema RBC y 8 g de biomasa húmeda en cada FBR (Fig. 3). El experimento duró 96 horas, con una temperatura promedio de 24 °C criterio que se estableció debido a las condiciones en las que se operó el ensayo (volumen, temperatura, fotoperiodo, tiempo).

Resultados

Eficiencia del sistema de tratamiento mediado por *Landoltia punctata*

En la Tabla 3 se muestran los datos obtenidos correspondiente al ARS, al inicio del sistema RBC, al final del sistema RBC, valor similar correspondiente al inicio del sistema mediado por *L. punctata* y al final del sistema mediado por la especie *L. punctata*.

En la etapa que corresponde al sistema de tratamiento mediado por RBC, se puede observar que la concentración de NH_3 disminuyó bastante a la salida del sistema RBC, con una concentración de 41,2 mg/L en la entrada y 27,0 mg/L a la salida, con un porcentaje de remoción de 34,3%. En la Fig. 4 se muestra la variación de la concentración de N-NH_3 durante las 96 horas de desarrollo del

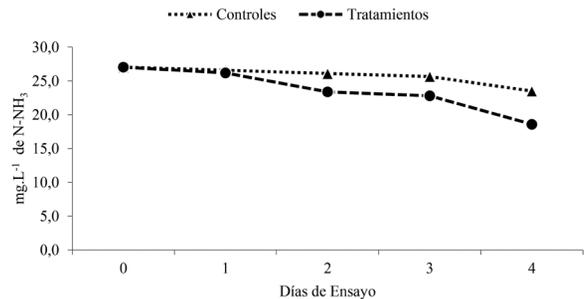


Figura 4. Variación de la concentración de Nitrógeno amoniacal durante los 4 días de ensayo con efluente de RBC.

ensayo, se puede observar que la concentración de partida fue de 27,0 mg/L en promedio, luego del tratamiento mediado por *L. punctata*, la concentración de N-NH_3 fue de 18,6 mg/L, representando el 31% de remoción del compuesto en esta etapa. .

Con respecto al ortofosfato, en la etapa correspondiente al tratamiento mediado por RBC la concentración del compuesto al ingresar al sistema fue de 12,3mg/L, y la concentración de salida de 10,1 mg/L, representando aproximadamente un 18% de remoción, En la Fig. 5 se muestra la variación de la concentración de ortofosfato durante las 96 horas que duró el ensayo de remoción en sistema mediado por *L. punctata*, en donde la concentración inicial fue de 10,1 mg/L, una vez finalizado el ensayo, la concentración del compuesto en el ARS fue de 2,1 mg/L representando una remoción del 75%.

Con respecto a uno de los parámetros que fue controlado de forma diaria durante las 96 h. En la

Tabla 3. Resumen de datos colectados durante los días que duró el ensayo. *) Entrada al sistema RBC. **) Salida del sistema RBC / Inicio del sistema mediado por *Landoltia punctata*. ***) Término del Control (sin *Landoltia punctata*). ****) Término del sistema mediado por *Landoltia punctata*.

Parámetros	*E. RBC	**S. RBC / I. <i>L.p.</i>	*** T. C	**** T. <i>L.p.</i>
Nitrógeno amoniacal	41,2	27,0	23,5	18,6
Ortofosfato	12,3	10,1	6,8	2,1
pH	5,87	7,34	7,33	7,25
Oxígeno Disuelto (mg.L ⁻¹)	1,01	4,29	3,50	2,70
Conductividad (mS.m ⁻¹)	103,4	55,13	33,9	53,75
Turbidez (NTU)	141,4	128,7	136,3	83,10
Temperatura (°C)	24,2	22,51	20,9	20,45

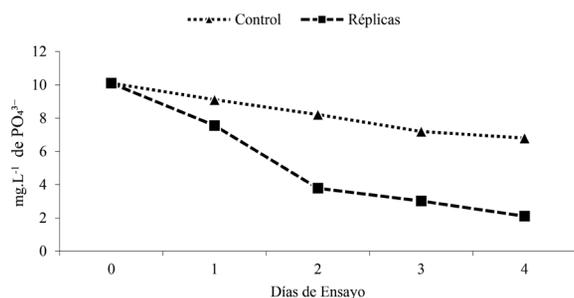


Figura 5. Concentración de Ortofosfato durante 4 días de ensayo con efluente de RBC.

Fig. 6, se puede observar el gráfico de variación de pH, dicho parámetro no sufrió una variación muy brusca durante las 96 h. de ensayo, manteniéndose casi constante durante todo el tiempo. Al igual que la temperatura, el mismo no varió bastante, manteniéndose dentro de los parámetros establecidos (24 ± 2 °C). Ambos parámetros se mantuvieron constantes, el pH, dependiente del sistema y ambiente determinado, y la temperatura que fue un parámetro establecido.

Variación de la biomasa

Debido a las condiciones de desarrollo del ensayo, así como la cantidad de biomasa inicial implementada, el aumento de biomasa no fue tan elevado, atribuyendo esto principalmente a la saturación del área superficial que fue recubierto completamente por la especie implementada. En la Tabla 4 se muestra el peso seco inicial, y el peso seco post tratamiento, implementando el mismo procedimiento antes de pesar y procedimiento de secado.

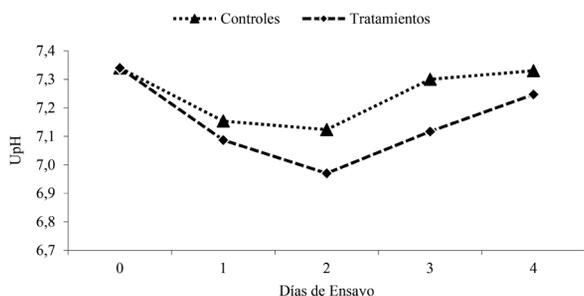


Figura 6. Variación del pH durante 4 días de ensayo con efluente de RBC.

Tabla 4. Resumen de peso seco inicial y final, junto con el incremento de biomasa al finalizar el ensayo en gramos.

Tratamientos	Peso seco I (g)	Peso seco F (g)	Incremento (g)
R 1.	0,301	0,362	0,061
R 2.	0,309	0,379	0,070
R 3.	0,316	0,381	0,065

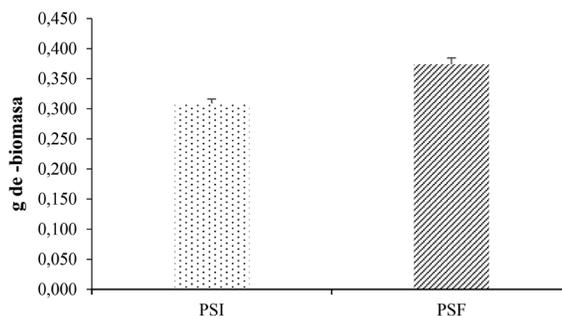


Figura 7. Barra de error de gramos de biomasa generada, al inicio y final del tratamiento.

Valorización de biomasa generada

Una vez cosechada y secada la biomasa se procedió a realizar la valorización de manera a conocer la concentración de proteínas totales y lípidos totales, tanto de la biomasa de control (que se pesó y secó al inicio del ensayo), como de la biomasa obtenida post tratamiento. En la Fig. 7 se puede observar el gráfico de barra de error por SD tanto de la biomasa inicial como de la biomasa post tratamiento del ARS. En la Tabla 5, se muestra un resumen del porcentaje de proteínas y lípidos del Peso Seco Inicial y Peso Seco Final.

Se puede ver que la concentración de proteínas totales aumentó una vez finalizado el tratamiento, atribuyendo el aumento de la biomasa, junto con

Tabla 5. Promedio del porcentaje de proteína y lípido de la biomasa inicial y final posttratamiento.

Tratamiento	% Proteína total	%Lípidos totales
<i>L. punctata</i> crecidas en efluentes del RBC	29,2	9,8
Peso seco inicial de <i>L. punctata</i>	18,0	5,0

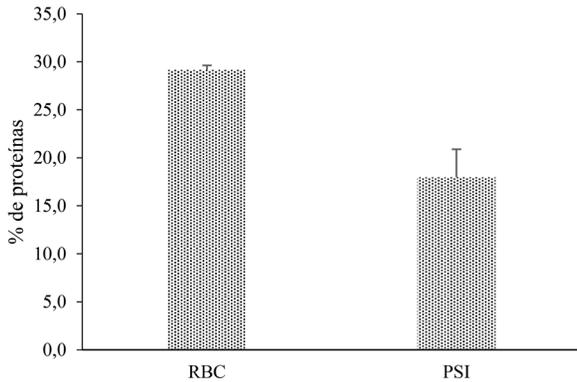


Figura 8. Barra de error del porcentaje de Proteínas totales por tratamiento.

la disminución del compuesto nitrogenado, al aumento del porcentaje de proteínas totales en comparación al porcentaje del mismo en la biomasa mantenido en stock., en la Fig. 8 se puede observar el gráfico de barra de error por SD. Mientras que el porcentaje de lípidos totales una vez finalizado el tratamiento aumentó casi al doble en comparación al valor de la biomasa inicial, en la Fig. 9 se puede observar un gráfico con error por SD tanto inicial como post tratamiento del ARS para los lípidos. Con los resultados obtenidos se puede atribuir que tanto el consumo de compuestos nitrogenados, como fosforados mejoran la biomasa de *L. punctata*, incrementando el tenor de proteínas como de lípidos.

Discusión

A nivel regional, Brasil ha demostrado excelentes resultados en su uso, como para tratar efluentes de

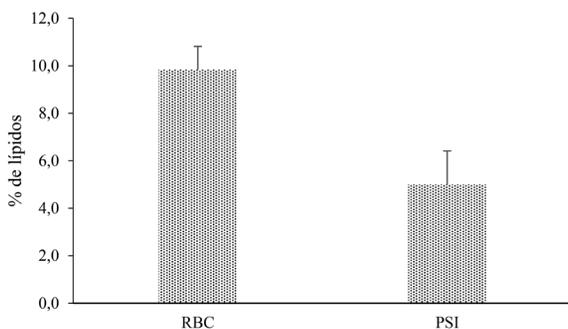


Figura 9. Barra de error de del porcentaje de Lípidos totales por tratamiento.

ganado en zonas rurales, a nivel nacional no existen estudios que se basen en la implementación de estos sistemas, conjugándolos con otros sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, como el modelo utilizado en este trabajo (RBC).

En los resultados obtenidos en la Figura 4, con respecto a la variación de la concentración de $N-NH_3$ queda demostrando la eficiencia del sistema para disminuir la carga de nutrientes, en relación a lo obtenido por otros autores, el porcentaje de remoción se encuentra por debajo del 50%, valores obtenidos empleando otras especies de la misma sub-familia. Con los resultados obtenidos se puede indicar que hubo 31% de remoción del compuesto, valor inferior a los obtenidos por Nassar *et. al.* (2015), y Toyama *et. al.* (2017) con un porcentaje de remoción del 60% utilizando la misma especie, mientras que otro autores como Roman & Brennan (2019) obtuvieron porcentajes de remoción similares a los obtenidos en este ensayo o inclusive menores, empleando otras especies de la misma familia.

En relación a la disminución del ortofosfato en el sistema mediado por *L. punctata*, que se muestra en la figura 5, el porcentaje fue elevado y comparable con valores obtenidos por varios autores. Tonon (2014), implementó la misma especie para la remoción de nutrientes de aguas residuales domésticas, obtuvo una eficiencia de remoción de ortofosfato del 89,49%, mientras que Nassar, *et. al.* (2015), obtuvieron porcentajes similares a los obtenidos en este ensayo, para la remoción de fósforo total, utilizando especies de la misma familia (*Lemna gibba* y *Lemna minor*), igualmente, Chen *et. al.* (2019) utilizando la especie *Lemna japonica* en su estudio obtuvieron una eficiencia en la remoción entre 22.35% y 60.11%.

En la Tabla 5 se resume el porcentaje de proteínas totales y lípidos totales de la biomasa inicial así como la obtenida post tratamiento. Primeramente el porcentaje de proteínas totales para el PSI fue de 18%, con una $SD=2,92$, el mismo nos demuestra el porcentaje de proteínas totales de la biomasa tomada del cultivo mantenido en condiciones de invernáculo,, igualmente el porcentaje de proteínas

totales es elevado, considerando que el mismo no fue obtenido postratamiento, en comparación con la biomasa analizada postratamiento en lagunas que presentó un porcentaje elevado de proteínas totales, siendo el mismo 29,2%, con un SD= 0,47, resultados comparables con lo obtenido por Nassar, *et. al.* (2015), quienes trabajaron con las especies *Lemna gibba* y *Lemna minor*, pertenecientes a la subfamilia de la especie en estudio, el porcentaje de proteínas obtenido fue de 28,1%, con esto concluyeron que la biomasa generada, puede ser empleada como proteína vegetal para ganado y piscicultura, debido al potencial que presentan. De igual forma, Chen *et. al.* (2019), utilizaron la especie *Lemna japonica*, y obtuvieron como promedio máximo de proteínas totales 25,89% en sistemas acoplados, otros autores como Rusoff *et. al.* (1980) reportaron un porcentaje de 28,7% de proteínas totales utilizando la misma especie.

En relación al porcentaje de lípidos totales, se puede observar (Figura 9) el aumento del contenido de lípidos totales post tratamiento del ARS proveniente del sistema RBC, en comparación con la biomasa inicial. El porcentaje de lípidos totales inicial fue de 5,0% con un SD = 1,41, mientras que el porcentaje post tratamiento fue de 9,8%, siendo el doble del inicial, con una SD = 0,98. Porcentajes similares a los obtenidos post tratamiento obtuvieron Verma & Suthar (2016), quienes expresaron que la biomasa seca de lentejas de agua muestran un elevado contenido de moléculas de energía, entre ellos, los lípidos, los mismos reportaron un contenido de 9,3% de lípidos, otros estudios, donde analizaron el contenido de lípidos de totales de la especie *Azolla Filiculoides*, perteneciente a la familia de la especie en estudio.

Brouwer *et. al.* (2016), obtuvieron un porcentaje de 7,92%; por otro lado, Gaur & Suthar (2017) trabajaron con la especie *Spirodela polyrhiza* utilizando agua residual urbano, los mismos registraron una acumulación de 46,36% de lípidos crudos. Otros estudios utilizando solución nutritiva Hoagland como la desarrollada por Miranda *et. al.* (2018), reportaron una acumulación de 5% de lípidos totales, valor por debajo a lo obtenido post

tratamiento. Con estos resultados se

Los resultados demuestran que la biomasa obtenida postratamiento puede ser empleada como fuente de nutrición animal, debido al alto contenido de proteínas totales. Mientras que el bajo rendimiento de lípidos, nos demuestra que la biomasa no puede ser destinada para la producción de biodiesel (Miranda *et. al.* 2020)

Según Iqbal (1999), las lentejas de agua pueden presentar la mayor tasa de crecimiento entre los vegetales superiores, cuando se desarrollan en condiciones ideales, debido a eso, la biomasa generada puede ser destinada a la producción de biocombustibles, siempre que el porcentaje de lípidos sea mayor, ya que los mismos requieren principalmente fuentes de nitrógeno y fósforo, y con las experiencias reportadas y la obtenida en el presente trabajo sugiere que esta tecnología es muy prometedora debido al bajo costo del tratamiento (Beims, 2017).

Conclusión

La especie *Landoltia punctata*, presenta resultados prometedores como sistema de tratamiento terciario o complementario a sistemas de tratamiento biológico descentralizado, demostrando el potencial para eliminar contaminantes a fin de realizar un pulido final a efluentes líquidos. Los resultados demostraron la eficiencia en eliminar N-NH₃, P-PO₄, dejando los mismos dentro de los valores admitidos por la legislación Nacional, así mismo la disminución de la conductividad, turbidez, no así el oxígeno disuelto que debido al estancamiento del sistema pudo influir en su leve disminución.

En relación a la generación de biomasa enriquecida, a pesar de obtener una baja producción en la misma, posiblemente limitada por el espacio, el leve incremento es un indicativo de que la especie *L. punctata* aprovechó los nutrientes disponibles y aparte de aumentar su biomasa, pudo aumentar su tenor nutritivo demostrado en los resultados de proteínas totales y lípidos totales.

Con estos resultados, se podría concluir que la especie utilizada puede ser implementada como sistema de tratamiento terciario de aguas residuales,

en zonas rurales donde la biomasa generada pueda ser nuevamente introducida a la cadena de producción, destinando la misma al consumo animal.

Agradecimientos

A la FACEN por la oportunidad de realizar la Maestría en Biotecnología Industrial, al CONACYT por el financiamiento a dicha Maestría. A los profesionales que me orientaron en el proceso de desarrollo del trabajo final de Tesis.

Literatura citada

- Alemzadeh, I., Vossoughi, F., & Houshmandi, M. (2002). Phenol biodegradation by rotating biological contactor. *Biochemical Engineering Journal*, 11(1): 19–23.
- Alaerts, G.J., Mahbubar, M.R. & Kelderman, P. (1996). Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon. *Water Research*, 30(4): 843–852.
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. & Eaton, A.D. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (20th ed.). Nueva York: APHA / AWWA / WEF.
- APG II. (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141(4): 399–436, 20.
- Ayala, P.R. (2016). *Eficacia de un Reactor Biológico Rotativo de Contacto a escala Laboratorio para la remoción de contaminantes de un agua residual*. Tesis de grado. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción.
- Beims, A.M. (2017). *Acúmulo de amido em lemnas (Landoltia punctata) através do enriquecimento de CO₂, visando à produção de bioetanol*. Tesis de grado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 136 pp.
- Bergmann, B.A., Cheng, J., Classen, J., & Stomp, A.M. (2000). Nutrient removal from swine lagoon effluent by duckweed. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 43(2): 263–269.
- Brouwer, P., van der Werf, A., Schlupepmann, H.; Reichart, G.J.; Nierop, K.G.J. (2016). Lipid yield and composition of *Azolla filiculoides* and the implications for biodiesel production. *Bioenergy Research*, 9: 369–377.
- Chen, G., Huang, J., Fang, Y., Zhao, Y., Tian, X., Jin, Y. & Zhao, H. (2019). Microbial community succession and pollutants removal of a novel carriers enhanced duckweed treatment system for rural wastewater in Dianchi Lake basin. *Bioresource Technology*. 276: 8 – 17.
- Cheng, J., Landesman, L., Bergmann, B.A., Classen, J.J., Howard, J.W., Yamamoto, Y.T. (2002). Nutrient removal from swine lagoon liquid by *Lemna minor* 8627. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 45(4): 1003–1010.
- Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., Lancelot, C., & Likens, G. E. (2009). Controlling eutrophication: phosphorus and nitrogen. *Science*, 323(5917): 1014–1015.
- Fernández González, J., de Miguel Beascochea, E., de Miguel Muñoz, J., & Curt Fernández de la Mora, M. D. (2000). *Manual de Fitodepuración: Filtros de macrofitas en flotación*. Macrid: EDITAN. 128 pp.
- García, E.M. & Fernández, I. (2012). *Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl: Valoración con un ácido fuerte*. Artículo docente. Valencia: Universitat Politècnica de València. 5 pp. [Consultado: 14.v.2020]. <<http://hdl.handle.net/10251/16338>>.
- Gaur, R.Z., Khan, A.A. & Suthar, S. (2017). Effect of thermal pre-treatment on co-digestion of duckweed (*Lemna gibba*) and waste activated sludge on biogas production. *Chemosphere*, 174: 754–763.
- Hewawasam, C., Matsuura, N., Takimoto, Y., Hatamoto, M., & Yamaguchi, T. (2018). Optimization of rotational speed and hydraulic retention time of a rotational sponge reactor for sewage treatment. *Journal of Environmental Management*, 222: 155–163.

- Iqbal, S. (1999). Duckweed aquaculture: potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries. *SANDEC Report*, 6(99): 1–91.
- Landolt, E., & Kandeler, R. (1987). Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae): Vol. 4: The family of Lemnaceae - a monographic study; Vol. 2: Phytochemistry, physiology, application, bibliography. *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidgenössische Technische Hochschule Stiftung Rübel im Zürich*, 95: 1–638.
- Liu, C., Dai, Z., & Sun, H. (2017). Potential of duckweed (*Lemna minor*) for removal of nitrogen and phosphorus from water under salt stress. *Journal of Environmental Management*, 187(2): 497–503.
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15): 221–243.
- Metcalf and Eddy, Inc. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. (3rd ed.). New York: McGraw-Hill. xvi + 1334 pp.
- Miranda, A.F., Liu, Z.Q., Rochfort, S. & Mouradov, A. (2018). Lipid production in aquatic plant *Azolla* at vegetative and reproductive stages and in response to abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 124: 117–125.
- Miranda, A. F., Kumar, N. R., Spangenberg, G., Subudhi, S., Lal, B., & Mouradov, A. (2020). Aquatic plants, *Landoltia punctata*, and *Azolla filiculoides* as bio-converters of wastewater to biofuel. *Plants*, 9(437): 1–18.
- Nassar, H. F., Shaban, A., d M., Bassem, S. M., & Abdel-Gawad, F. K. (2015). Utilization of duckweed (DW) in nutrient removal from agricultural waste water and producing alternative economic animal fodder. *Der Pharma Chemica*, 7(12), 280–285.
- Rusoff, L.L., Blackeney, E.W. & Culley, D.D. (1980). Duckweeds (Lemnaceae Family): a potential source of protein and amino acids. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 28(4): 848–850.
- Skillicorn, P., Spira, W., & Journey, W. (1993). *Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries*. Washington: The World Bank. x + 76.
- Tacon, A.G.J. (1987). *Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados: manual de capacitación*. Brasilia: FAO. 483 pp.
- Tonon, G. (2016). *Avaliação de lagoas de lemnas para o polimento de esgoto doméstico: emissões de GEE e valorização de biomassa na produção de biometano*. Disertación de Maestría. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 154 pp.
- Verma, R., & Suthar, S. (2015). Utility of duckweeds as source of biomass energy: a review. *Bioenergy Research*, 8(4): 1589–1597.