

Trabajos Completos y Comunicaciones



**AGROPECUARIOS Y
AGROINDUSTRIALES**

"Hacia una gestión racional de residuos"

MENDOZA

1,2 y 3 de noviembre de 2023

Compiladores:

Iván Funes Pinter, Martín Uliarte, Pedro Federico Rizzo.



IV Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales.

Trabajos completos y comunicaciones.

Compiladores:

Iván Funes Pinter, Martín Uliarte, Pedro Federico Rizzo.



FITORREMEDIACIÓN DE ESTIÉRCOL PORCINO MEDIANTE MACRÁFITOS FLOTANTES.

Daiane Salette B. Mignoni¹, Fernanda P. da Silva², Grazielle C. Stradiotto¹, Estela O. Nunes³, Paulo Armando V. de Oliveira³, Augusto D. Luchessi¹

Filiación:

¹Universidade Estadual de Campinas-SP

² Instituto Federal Catarinense-Concórdia-SC

³ Embrapa Suínos e Aves

E-mail: daianesb@unicamp.br

Introducción

El alto nivel de nutrientes, particularmente nitrógeno (N) y fósforo (P), favorece el desarrollo de macrófitos (plantas de rápido crecimiento y alto rendimiento de biomasa) en los ecosistemas acuáticos. Las macrófitas acuáticas flotantes, comúnmente conocidas como lentejas de agua o “duckweeds”, son las angiospermas monocotiledóneas más pequeñas que florecen y forman poblaciones densas y clones genéticamente uniformes (Landolt 1998). Este grupo de plantas se caracteriza por su tamaño extremadamente pequeño e incluye 37 especies divididas en 5 géneros dentro de la familia Araceae. Spirodela, Landoltia, Lemna, Wolffia y Wolffia (Les et al. 2002; Rothwell et al. 2004; Appenroth et al. 2013; Tippery; Les 2020). Wolffia es el género más evolucionado y más pequeño (0,5 - 1 mm) y no tiene raíces (Fig.1), mientras que las otras especies (incluyendo Spirodela, Landoltia y Lemna) producen raíces. Las macrófitas, además de su capacidad de biorremediación en ambientes acuáticos, pueden, a través de su biomasa, ser una fuente alternativa de energía y matriz proteica (de 6 a 10 veces más rápido que un área equivalente plantada con soja) y posee un alto contenido proteico, de 10 a 45% en base seca (Landesman, et al. 2005; Buss, 2015), lo que representa una producción sostenible desde el punto de vista económico y ambiental. En una laguna de aguas residuales de una granja porcina, la tasa de crecimiento puede alcanzar $29 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, produciendo 106 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en masa seca (Cheng et al. 2002). Esta cantidad de biomasa es mucho mayor que la de algunos cultivos, como maíz (7,84), trigo (3,15) y cebada (3,70) $\text{ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Cui; Cheng 2015).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño fisiológico y de fitorremediación de macrófitos acuáticos flotantes: *Landoltia punctata* (G.Mey.) Les & D.J.Crawford y *Wolffia brasiliensis* Wedd. en aguas residuales de la producción de porcinos.

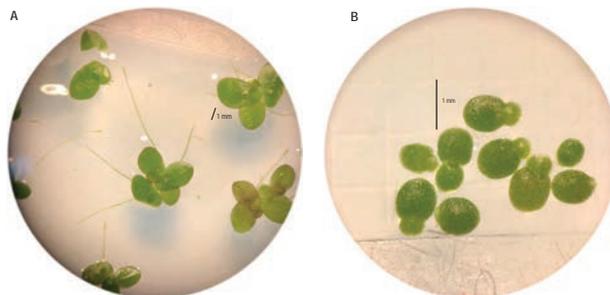


Figura 1. Imágenes ilustrativas de las raíces y frondas de *Landoltia punctata* (A) con ampliación de 2 x y de las frondas de *Wolffia brasiliensis* (B) con ampliación de 4x.

Materiales y Métodos

a) Cultivo de macrófitas x $[N-NH_3]$

El experimento se instaló en un invernadero, para permitir mantener la temperatura en el rango adecuado para el desarrollo de la lenteja de agua (18 a 25°C), evitando cambios por precipitación. Las especies (*Landoltia* y *Wolffia*) se cultivaron en un mini reactor (500 ml). Las macrófitas se cultivaron en medio líquido que contenía desechos de porcinos

con una concentración máxima de 100 mg de nitrógeno amoniacal (N-NH₃). Los cultivos se realizaron bajo tres concentraciones diferentes de N-NH₃ y en 3 repeticiones, como se representa en la figura 2. El control de cada especie se realizó mediante cultivo únicamente en agua potable y la distribución del mini reactor se realizó de forma completamente aleatoria y determinado mediante sorteo.

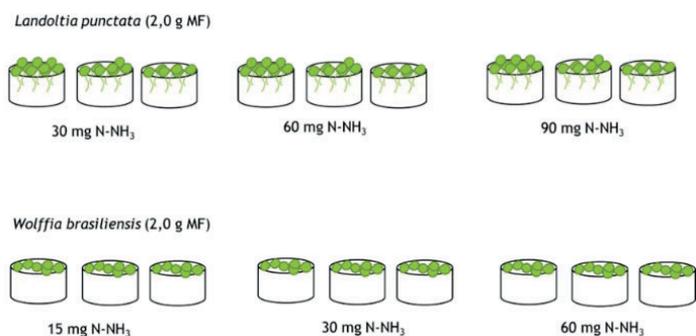


Figura 2. Esquema representativo del experimento con lentejas cultivadas en desechos de porcinos.

b) Eficiencia de fitorremediación:

Se evaluaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: demanda química de oxígeno (DQO), turbidez, amoníaco (N-NH₃), nitrato (N-NO₃), fósforo total (PT) y fosfato (P-PO₄); metales (Zn y Cu); Coliformes totales y fecales (*E. coli*) de medios de cultivo pre y pos fitorremediación, así como rendimiento de biomasa (Figura 3).

c) Cultivo de Landoltia a escala piloto en raceway

A partir de la definición de la mejor concentración de N-NH₃ establecida en la escala del mini reactor, descrita en el punto (a). El cultivo de la macrófita Landoltia se realizó en invernadero en un reactor tipo raceway (capacidad de 12.000 litros, sin embargo, el volumen utilizado fue 1/4 de la capacidad) en condiciones controladas de humedad y temperatura) ubicado en la Embrapa cerdos y aves de Concordia-SC.

Se inoculó 1 kg de biomasa fresca en el reactor raceway que contenía aguas residuales porcinas. Después de 20 días, la biomasa se recogió, se pesó (masa fresca) y se secó en condiciones de invernadero. Después del secado, se evaluó el rendimiento de masa seca de biomasa.

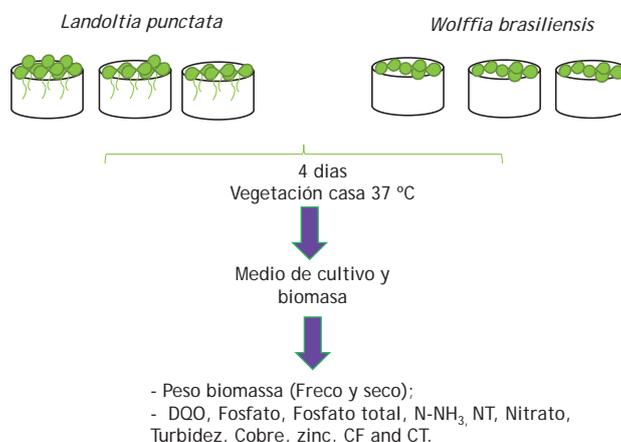


Figura 3. Esquema representativo del experimento con lentejas crecidas en desechos de porcino y análisis realizados sobre aguas residuales y biomasa antes y después de la fitorremediación.

Resultados y Discusión

Después de 4 días de cultivo de macrófitos (fitorremediación), hubo una reducción visual en el color del agua residual (medio de desecho), como se muestra en la figura 4.

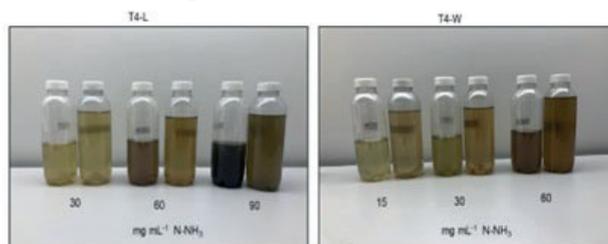


Figura 4. Aspecto físico del medio de cultivo pre y postcultivo de 4 días (A). Cultivo de Landoltia-T4L en aguas residuales (B). Cultivo de Wolffia T4-W en aguas residuales.

Los parámetros físico-químicos indicaron que, a la menor dilución de residuos (15 mg N-NH₃), Wolffia mostró un 54% de remoción solo para fosfato y fósforo total en comparación con los valores de control negativo.

En concentraciones de 30 y 60 mg L⁻¹, ambas especies fueron similares en la eliminación de nutrientes. Wolffia en la concentración más baja de N-NH₃ fue más eficaz para eliminar el fósforo. Mientras tanto, Landoltia eliminó más nitrógeno amoniacal de las aguas residuales en una concentración de 60 mg L⁻¹. Ambas especies redujeron considerablemente los niveles de coliformes totales y fecales.

La especie *Wolffia* no mostró buen crecimiento y rendimiento a una concentración de 90 mg N-NH₃. *Landoltia* mostró una buena eliminación con una reducción del 100% para el nitrógeno amoniacal y del 95% para los coliformes fecales (Tabla 1).

Parámetros	CN	<i>Landoltia</i>
DQO (mg L ⁻¹)	1441,0	362,0
Fosfato (mg L ⁻¹)	192,1	156,0
Fósforo total (mg L ⁻¹)	63,4	51,4
Nitrógeno Amoniacal (mg L ⁻¹)	31,8	< 1
Nitrógeno Nitrato (mg L ⁻¹)	<0,3	47,0
Turbiedad (NTU)	872,0	84,2
Cobre total (mg L ⁻¹)	2,9	0,3
Zinc total (mg L ⁻¹)	0,0	0,0
C. totales (UFC/100 mL)	2000,0	100,0
C. termotolerante (UFC/100 mL)	140,0	40,0

Tabla 1. Caracterización físico química del efluente pre y post-fitorremediación con *Landoltia* (90 mg N-NH₃ L⁻¹)

Landoltia mostró mayor acumulación de nutrientes en su biomasa en comparación con *Wolffia* en concentraciones de 30 y 60 mg de N-NH₃ (Cuadro 2). A una concentración de 60 mg L⁻¹ *Landoltia* acumuló mayor cantidad de fósforo y nitrógeno total (NT), mientras que para *Wolffia* la mejor eficiencia fue a una concentración de 30 mg L⁻¹, para estos mismos elementos. En este sentido, se estableció el cultivo de macrófitas en estas concentraciones para la producción de biomasa a escala piloto.

Parámetros	Unidade	<i>Landoltia</i>			<i>Wolffia</i>		
		mg L ⁻¹ N-NH ₃					
		30	60	90	15	30	60
Fósforo total	g Kg ⁻¹	7,7	13,3	15,2	3,3	5,9	2,2
Nitrógeno Total		44,9	57,2	54	49,8	51,3	44,9
Nitrato		0,2	0,1	3,2	0,3	0,5	0,2
Cobre total	mg Kg ⁻¹	0,5	0,7	1,3	0,4	1,0	0,6
Zinc total		0,6	1,42	0,4	0,51	1,02	0,54

Tabla 2. Caracterización de las biomásas de *Landoltia* y *Wolffia* después de la fitorremediación y diferentes concentraciones de N-NH en los desechos de porcino.

Landesman et al. (2005) observaron una concentración similar para *Lemna obscura* cultivada en la mayor concentración de NT en aguas residuales (60 mg L⁻¹) mostró el nivel de proteína más alto. Hubo una correlación positiva entre el contenido de NT del medio y el contenido de proteína (R²=0,95). Sin embargo, la mayor producción

de biomasa fresca se produjo entre 9 y 14 mg L⁻¹ de NT.

En el presente estudio (Fig. 5), el rendimiento fue de 22 kg en masa fresca (MF), correspondiente a 1,6 kg en masa seca (MS). La productividad fue de 7.000 kg MF ha⁻¹, sin embargo, las condiciones de cultivo aún no se han optimizado por completo. En la misma zona de cultivo, la productividad promedio de la soja fue de 3.508 kg ha⁻¹ con un solo cultivo anual (Conab 2023). Nuestros resultados indicaron una productividad dos veces mayor en comparación con la productividad de la soja en la misma zona de cultivo. Se cree que optimizando las condiciones de cultivo esta productividad puede ser mayor, como se encontró en trabajos similares realizados por Landesman et al. (2005) con *Lemna obscura*, donde la productividad fue de 6 a 10 veces mayor en la misma zona de cultivo de soja.

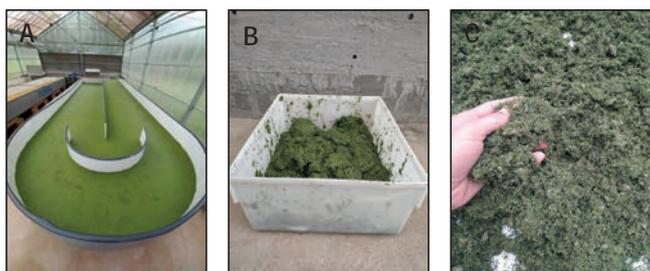


Figura 5. Producción y rendimiento de *Landoltia* en reactor de tipo raceway (A) conteniendo desechos de porcino. Biomasa fresca de *Landoltia* (B) después de 20 días de cultivo. Biomasa seca (C) después del secado en invernadero.

Conclusión

El cultivo de macrófitas en aguas residuales de la producción de cerdos, bajo buenas condiciones de manejo, es una alternativa importante para restablecer el equilibrio del medio acuático. Debido a su capacidad de adaptación y rápido crecimiento, absorben el exceso de nutrientes, convirtiéndose en una fuente de proteínas, energética y de compuestos bioactivos. En definitiva, una materia prima de bajo costo y alto valor añadido para su aplicación en biotecnología industrial.

Agradecimientos

A la FAPESP (Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de San Pablo) trámite N° 2021/04607-3 por la financiación. A EMBRAPA Cerdo y Aves de Concordia (SC, Brasil) y a la Universidad de Campinas (SP, Brasil).

Referencias

Appenroth, K. J.; Borisjuk, N.; Lam, E (2013). *Telling duckweed apart: Genotyping technologies for the Lemnaceae*. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology. Volume 19 (1) 1-10.

Buss, M.V. (2015). *Macrófitas aquáticas flutuantes: avaliação e indicativo do seu potencial bioenergético*. Tese de doutorado, Unoesc, SC, Brasil. 104 p.

Cheng, J; Bergmann, B.A.; Classen, J. J.; Stomp, A.M.; Howard, J. W (2002). *Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela pucntata**. Bioresource Technology. Volume 81 (1) 81-85.

Conab-Companhia Nacional de Abastecimento (2023). *Acompanhamento de safra brasileira. Grãos*. Volume 10 (9) p 78.

Cui, W.; Cheng, J.J (2015). *Growing duckweed for biofuel production: A review*. Plant Biology Volume 17 (1) 16-23.

Landesman, L.; Parker, N. C., Fedler, C. B.; Konikoff, M (2005). *Modeling duckweed growth in wastewater treatment systems*. Livestock Research for Rural Development. Volume 17 (6) Art. #61. Retrieved September, 2023, from <http://www.lrrd.org/lrrd17/6/land17061.htm>.

Landolt, E. (1998). Lemnaceae. In: Kubitzki, K. (eds) Flowering Plants · Monocotyledons. The Families and Genera of Vascular Plants. Volume 4. Springer, Berlin, Heidelberg.

Les, D.H.; Crawford, D.J.; Landolt, E.; Gabel, J. D.; Kimball, R.T. (2002). *Phylogeny and systematics of Lemnaceae, the duckweed family*. Systematic Botany. Volume 27 (2) 221-240.

Rothwell, G.W.; Van Atta, M.R.; Ballard, H.E.; Stockey, R.A (2004). *Molecular phylogenetic relationships among Lemnaceae and Araceae using the chloroplast trnL-trnF intergenic spacer*. Molecular Phylogenetics and Evolution. Volume 30 (2) 378-385.

Tippery, N. P.; Les, D.H (2020). Tiny plants with enormous potential: Phylogeny and evolution of duckweeds. In: Cao, X., Fourounjian, P., Wang, W. (eds) The Duckweed Genomes. Compendium of Plant Genomes. Springer, Cham.