

Utilización de macroalgas de agua dulce en el tratamiento de aguas residuales urbanas y como cosustrato en la biodigestión anaeróbica de purines de cerdo

M. Astorga^a, M. Cesano^{b,c}, S. Bartucci^d, S. Otaño^e, A. Camacho^{a,e} y M. N. Gatti^{c,e}

^a Facultad Regional del Neuquén, Universidad Tecnológica Nacional.

^b Facultad Regional de Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.

^c Centro de Investigaciones en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue. margarita.cesano@gmail.com

^d Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Agricultura Familiar Región Patagonia.

^e Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.

Resumen

Durante la última década, la densidad poblacional en la región norte de la Patagonia ha ido en aumento. Debido a esto y a la inadecuada gestión ambiental, se observa contaminación en fuentes de agua dulce, que se manifiesta por el crecimiento de macrófitas acuáticas, incluidas las macroalgas. Paralelamente, el desarrollo de la producción porcina tiene como consecuencia la generación de purines de cerdo que, en general, no son debidamente tratados y provocan un efecto nocivo para el ambiente.

En vías de mitigar el impacto antrópico sobre los recursos naturales de la zona y abordar ambas problemáticas, se evaluó el uso de macroalgas para dos casos: el tratamiento primario y secundario de efluentes urbanos, y como cosustrato en la digestión anaerobia de purines de cerdo.

Los resultados mostraron la gran capacidad de la macroalga para cumplir con los dos objetivos propuestos. La metodología utilizada resulta por lo tanto una alternativa viable para el ciclado y valorización de contaminantes presentes en aguas residuales y purines de cerdo.

Palabras clave: macroalgas, digestión anaeróbica, periurbano, degradación.

Introducción

Las aguas residuales son insuficientemente tratadas en plantas depuradoras y lagunas. Cuando se vierten a ríos y lagos, aún contienen una importante concentración de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. De forma similar, desde la zona periurbana, el aporte de dichos nutrientes se ve potenciado debido a la aplicación excesiva de purines al suelo en forma de abono. Esto contribuye a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas^{1,2}, generando así un enriquecimiento importante de los mismos en las zonas receptoras.

Las algas (micro y macroalgas) son una alternativa práctica para el tratamiento de aguas residuales³ debido a su capacidad natural para eliminar los nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo. Se ha demostrado la viabilidad de utilizar la macroalga del género *Spirogyra* para depurar nutrientes de múltiples fuentes de agua residual, con la producción simultánea de biomasa energéticamente atractiva dada su composición en proteínas, carbohidratos y lípidos⁴. Informes previos describen el crecimiento de la especie *Spirogyra sp.* -y de otras macroalgas y plantas acuáticas- en los ríos de la zona⁵. Estas tapizan las orillas y zonas poco profundas del río Limay, generando un deterioro significativo del lugar para usos recreativos y un incremento en el costo de potabilización del

agua. En la zona del Comahue ya se estudian las macroalgas como valiosos co-sustratos en la digestión de purines de cerdo ^{6, 7}.

En el presente trabajo, se plantean metodologías a escala de laboratorio que permitan, por un lado, evaluar la capacidad de *Spirogyra sp.* para depurar aguas residuales, y por el otro, seleccionar las combinaciones de purín y macrófitas que maximicen la producción de biogás, evaluando en cada caso el potencial bioquímico de metano como principal indicador.

En la región no se han abordado estudios que den solución a la problemática asociada a la contaminación de suelos y fuentes de agua receptoras y al mismo tiempo revaloricen dichos residuos mediante su conversión a biogás; es el objetivo del presente trabajo realizar un aporte en dicho sentido.

Materiales y métodos

Macroalgas en el tratamiento primario y secundario de efluentes urbanos:

La recolección de macroalgas se realizó en zonas poco profundas de las orillas del río Limay. Estas fueron llevadas al laboratorio y lavadas con agua destilada con el fin de remover macro y micro contaminantes.

El agua residual urbana fue muestreada de una planta de tratamiento de efluentes local, donde se tomaron dos muestras integradas: agua de entrada (E), correspondiente al agua residual urbana cruda, luego de haber atravesado las etapas del desbaste de sólidos y remoción de arenas; y agua de salida (S), luego del tratamiento con fangos activados.

A continuación, se pesaron las macroalgas para ser transferidas a dos recipientes de 500 ml cada uno: al reactor 1 (R1) se le agregó 44.6 gr de macroalga y se lo alimentó con agua de entrada; al reactor 2 (R2) se le agregó 45.7 gr de macroalga y se lo alimentó con agua de salida.

El cultivo se realizó en modalidad continua durante 93 días, con recambios semanales de agua, procurando respetar un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 10 días. Se utilizó un temporizador para controlar en ciclos intermitentes de 1 hora tanto la iluminación como la aireación. La plataforma de iluminación LED proporciona espectros de luz adecuados para el crecimiento de macroalgas en el rango de (380-440) nm y (650-670) nm, con una intensidad de luz de (50-85) $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ⁴. Semanalmente se determinó y registró la temperatura, pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrógeno como amonio (N-NH₄) y nitrato (N-NO₃) y fósforo como fosfato (P-PO₄) ⁸.

Macroalgas como cosustrato en la digestión anaerobia de purines de cerdo:

Se procedió a determinar el Potencial Bioquímico de Metano (PBM) ⁹ para tres cosustratos: *Spirogyra sp.*, una mezcla de *Salvinia sp.* y *Azolla sp.* (plantas acuáticas) y *Pronus armeniaca* (restos de poda).

En primer lugar, se sometió a los cosustratos a un pretratamiento mecánico, donde fueron triturados en pedazos lo más pequeños posible empleando un cuchillo y un cutter. La determinación se llevó a cabo en condiciones mesofílicas, a 35°C; cada cosustrato se ensayó por triplicado, con su respectivo blanco, e inóculo. La digestión ocurrió en biodigestores de vidrio de 250 ml de capacidad total, con un TRH de 40 días. El volumen de biogás generado se determinó con una jeringa, y el contenido de metano mediante el burbujeo del biogás en una solución de NaOH. La caracterización de los cosustratos incluyó la determinación de sólidos totales, sólidos volátiles y pH ⁸.

Resultados y discusión

Cultivo de macroalga

Cuando se cultivó a *Spirogyra sp.* en agua residual urbana los porcentajes de eliminación de materia orgánica (DQO), nitrógeno amoniacal y fósforo fueron 87.8%, 96.6%, y 65.1%, respectivamente, y cuando se las cultivó en el efluente de una planta de fangos activados de la zona los porcentajes fueron 39.4%, 79.1%, y 60.1%, respectivamente (Tabla 1).

	DQO	N-NH ₄	P-PO ₄
Agua residual urbana	87.8	96.6	65.1
Efluente de planta	39.4	79.1	60.1

Tabla 1: Porcentajes de eliminación de materia orgánica, nitrógeno amoniacal y fósforo por parte de *Spirogyra sp.*

A continuación se muestra cómo fue la disminución progresiva de DQO, N-NH₄ y P-PO₄ durante el período ensayado (figuras 1, 2 y 3).

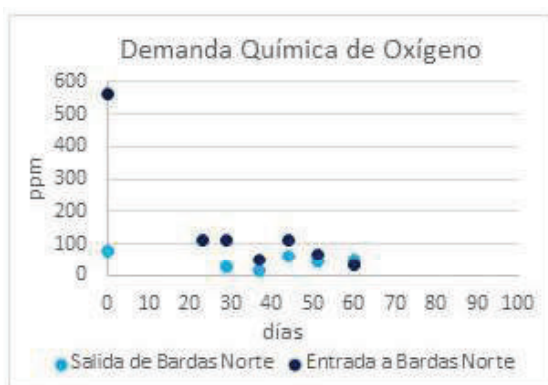


Figura 1: Eliminación de materia orgánica (DQO)

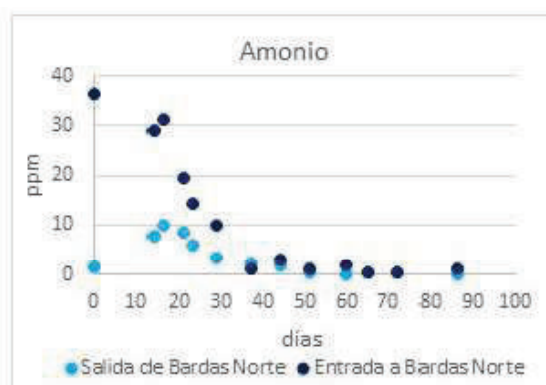


Figura 2: Eliminación de nitrógeno como amonio (N-NH₄)

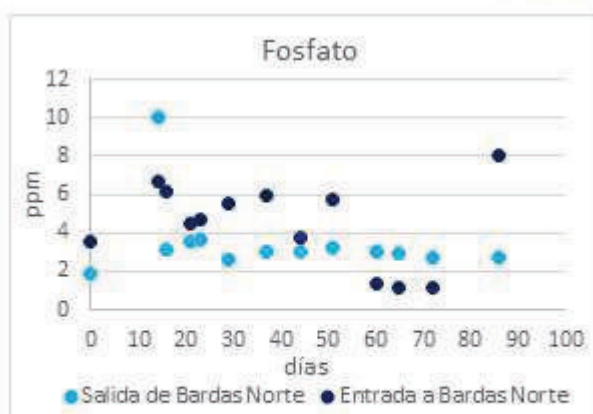


Figura 3: Eliminación de fósforo como fosfato (P-PO₄)

Se observó que la presencia de piedras del río colocadas en el fondo de los reactores favoreció el anclaje y crecimiento de la macroalga. El desarrollo fue

más abundante en R1 dado el mayor contenido de nutrientes del agua de entrada. Las imágenes que se muestran a continuación corresponden a fotografías tomadas en un microscopio óptico, donde se observa el crecimiento de *Spirogyra* tanto en R1 como en R2 (figura 4).

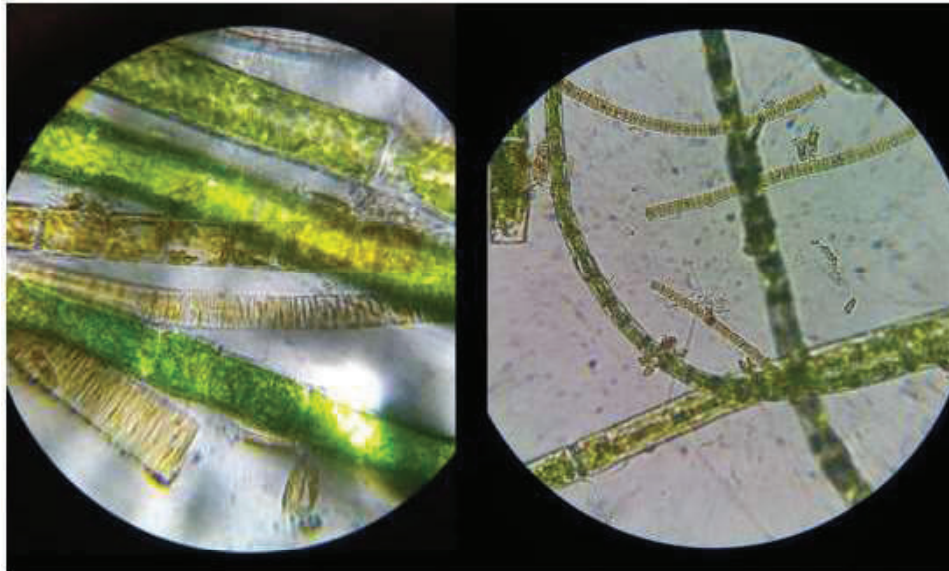


Figura 4: Desarrollo de *Spirogyra* en R1, observado con aumento 100X (izq) y R2, observado con aumento 40X (der).

Conociendo los requerimientos nutricionales de nitrógeno y fósforo de *Spirogyra sp.* podría estimarse la biomasa que potencialmente podría generarse en función de un volumen de efluente depurado determinado.

Digestión anaeróbica

El PBM para *Spirogyra sp.* en la codigestión anaeróbica con purines de cerdo mostró $152,7 \pm 66,1$ ml $\text{CH}_4/\text{g SV}$, triplicando la producción respecto a la digestión con purines como único sustrato (blanco). En los ensayos testeados con restos de poda y plantas acuáticas como cosustrato, no se observa una contribución significativa de los mismos en la producción de metano (figura 4).

Las características bioquímicas de la macroalga, especialmente el contenido de hidratos de carbono, la convierten en un sustrato apropiado para su conversión a biogás ⁴ (figura 5).

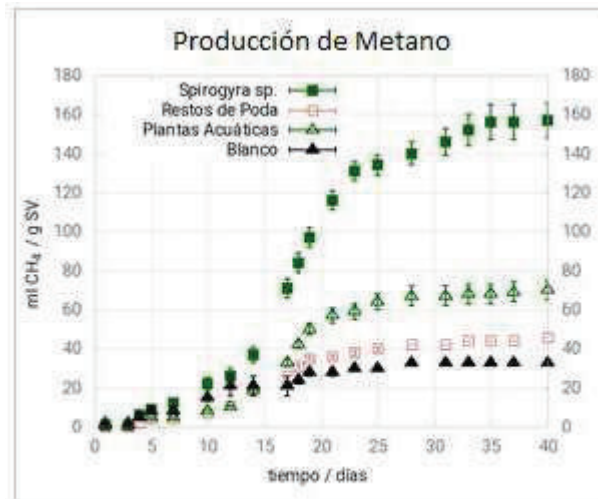


Figura 5: Metano acumulado en base a sólidos volátiles agregados

Conclusiones

La macroalga ensayada *Spirogyra sp.* ha mostrado una gran capacidad para cumplir con los dos objetivos propuestos: se pudo determinar un elevado grado de remoción de materia orgánica, especies nitrogenadas y fosfatos en ambos tipos de efluentes, y también se logró determinar la efectividad que tiene la macroalga para potenciar la generación de metano en un bioproceso de codigestión anaerobia.

En función de estos resultados, puede pensarse en una gestión integral de residuos líquidos y sólidos, donde en primera instancia, las macroalgas se implementen como una etapa de post-tratamiento en plantas de depuración convencionales de fangos activados o lagunas, y que luego esa biomasa obtenida sea gestionada mediante digestión anaeróbica con purines u otros sustratos orgánicos, cerrando el ciclo.

Por lo tanto, la metodología implementada es una alternativa viable para el ciclado y valorización de contaminantes y biomasa, que además permite resolver la problemática de la estacionalidad de los residuos generados por las industrias de la zona a la hora de pensar en el desarrollo biodigestores que funcionen de manera continua para el abastecimiento energético zonal.

Referencias

1. Scotford IM, Cumby TR, Richards PA, Keppel D, Lenehan JJ. Development of an in-line nutrient sensing system for livestock slurries. *J Agric Eng Res.* 1999;74(3):303-316. doi:10.1006/jaer.1999.0467
2. Moral R, Perez-Murcia MD, Perez-Espinosa A, Moreno-Caselles J, Paredes C. Estimation of nutrient values of pig slurries in Southeast Spain using easily determined properties. *Waste Manag.* 2005;25(7):719-725. doi:10.1016/j.wasman.2004.09.010
3. Neori A, Shpigel M, Chopin T, et al. Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture.* 2004. doi:10.1016/j.aquaculture.2003.11.015
4. Ge S, Madill M, Champagne P. Use of freshwater macroalgae *Spirogyra sp.* for the treatment of municipal wastewaters and biomass production for biofuel applications. *Biomass and Bioenergy.* 2018;111:213-223. doi:10.1016/j.biombioe.2017.03.014

5. Barrionuevo, M.E.; Copes, W. J.; Flores, L. B., Dussi; M.C., Correa, M.J.; Daga GA. Caracterización de restos vegetales acuáticos para su uso en agricultura. In: De SA de C y TA, ed. *Libro de Resúmenes Del III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*. Santa Fe; 2017. doi:ISBN: 978-987-46096-2-5
6. Astorga M.; Gatti M.; Camacho A. Incrementando la producción de metano en procesos de digestión anaerobia de purines de cerdo mediante el empleo de macroalga como co-sustrato. In: *Quinto Congreso Del Foro de Universidades Nacionales Para La Agricultura Familiar*. Cinco Saltos, Argentina; 2019.
7. Astorga M.; Gatti M.; Camacho A. Co-digestión anaerobia de purines de cerdo con macrófi- tas acuáticas de la cuenca neuquina y residuos orgánicos derivados de la agroindustria patagónica. In: -AV-1a ed., Buenos Aires : Asociación Química Argentina 2019., eds. *XXXII Congreso Argentino de Química*. Buenos Aires, Argentina; 2019:2-3.
8. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition. *Am Public Heal Assoc Am Water Work Assoc Water Environ Fed*. 2012. doi:10.1520/E0536-16.2
9. Holliger C, Alves M, Andrade D, et al. Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Sci Technol*. 2016;74(11):2515-2522. doi:10.2166/wst.2016.336