



ALLIANCE™

(https://www.globalseafood.org).



Responsibility



Don't Fall Behind

Beneficios y desafíos potenciales de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales de la acuicultura

The Responsible
Seafood Advocate:
Delivered

Email*

Subscribe


Carefully curated news, technical
articles and feature journalism in your
inbox every Tuesday.

25 September 2025

By Marcin Zieliński , Marta Kisielewska , Annamaria Talpalaru , Paulina Rusanowska , Joanna Kazimierowicz and Marcin Dębowski

Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales de la acuicultura basadas en microalgas se consideran soluciones prometedoras con un alto potencial de aplicación

Las aguas residuales de la acuicultura (AWW) contienen **cantidades significativas de materia orgánica** (<https://doi.org/10.1007/s10653-024-02286-8>). (100-150 mg por litro), nitrógeno (3-7 mg/L como amonio y 2-110 mg por litro como nitratos) y fósforo (2-50 mg por litro como fosfatos), que, si no se tratan, pueden contribuir a la contaminación y la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, estas aguas residuales pueden utilizarse eficazmente en sistemas integrados con microalgas para asegurar el **reciclaje** (<https://doi.org/10.3390/toxics13020131>) de nitrógeno y fósforo para la producción de biomasa algal.

GSA has updated its [Privacy Policy](#) and [Terms of Use](#). By accessing the GSA website, you agree to the Terms of Use. 

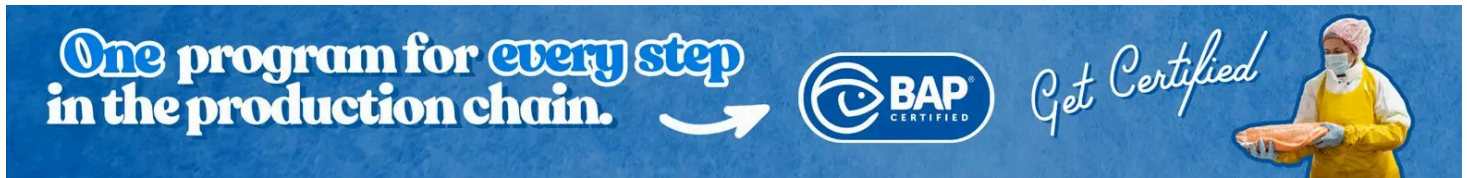


Fotografía de IGV Biotech (CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, vía Wikimedia Commons) que muestra un fotobiorreactor tubular de vidrio para el cultivo de microalgas y otros organismos fotosintéticos. Este tipo de fotobiorreactor es adecuado para la producción a gran escala de productos de alto valor a partir de microalgas.

La integración del tratamiento de aguas residuales con el cultivo de microalgas no solo es beneficiosa desde el punto de vista ambiental, sino también en términos de viabilidad económica. Una revisión de los avances recientes en el uso de aguas residuales para el cultivo de algas ha demostrado que las micro

algas pueden producir biomasa rica en proteínas, lípidos, carbohidratos y vitaminas, lo que las convierte en **candidatas ideales** (<https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102541>) para alimentos animales e ingredientes alimentarios. La biomasa de microalgas también puede ser una fuente de alimento para peces.

Además, los **lípidos producidos por las microalgas** (<https://doi.org/10.3390/pr13020488>) pueden procesarse para obtener biodiésel; la biomasa rica en carbohidratos es adecuada para la producción de bioetanol, mientras que la digestión anaeróbica de la biomasa de microalgas permite la producción de biometano, todas fuentes de energía renovables. También se ha demostrado que las microalgas contribuyen a la salud y fertilidad del suelo cuando se procesan para obtener biofertilizantes y son una alternativa aceptable a los fertilizantes químicos. Existen muchos tipos de microalgas que podrían beneficiarse de los nutrientes disponibles en las AWW.



(<https://info.globalseafood.org/get-certified>).

La posibilidad de utilizar aguas residuales de diferente composición química y origen como medio de cultivo es una de las principales ventajas de los sistemas de producción de biomasa de microalgas. Se ha demostrado que este enfoque respetuoso con el medio ambiente puede **reducir significativamente** (<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101794>) el coste total de propiedad de las instalaciones de cultivo y el coste unitario de la producción de biomasa.

Este artículo – **resumido** (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) de una sección de la **publicación original** (<https://doi.org/10.3390/en18164352>). (Zieliński, M. et al. 2025. Integration of Aquaculture Wastewater Treatment and *Chlorella vulgaris* Cultivation as a Sustainable Method for Biofuel Production. *Energies* 2025, 18(16), 4352) – analiza el potencial y los desafíos de los sistemas de producción de microalgas para el tratamiento de aguas residuales, incluidas las aguas residuales de la acuicultura.

Ubicación de fotobiorreactores

Además de las aplicaciones acuícolas, se han realizado numerosos intentos para **integrar fotobiorreactores de microalgas** (<https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101598>) en procesos de tratamiento de aguas residuales industriales, municipales y agrícolas, así como en la **neutralización de aguas residuales** (<https://doi.org/10.3390/pr8050517>) de plantas de biogás y reactores anaeróbicos. En la mayoría de los casos, se logró una alta eficiencia de eliminación de contaminantes orgánicos, así como de compuestos de nitrógeno y fósforo. Los informes sobre fotobiorreactores que neutralizan eficazmente aguas residuales de fuentes industriales y domésticas indican la viabilidad de sistemas comerciales para la producción de biomasa de microalgas, incluyendo la producción de biocombustibles.

Existen numerosas ideas para **ubicar fotobiorreactores** (<https://doi.org/10.3390/en15082912>) cerca de plantas de biogás agrícola, plantas de conversión de residuos en biogás, plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de calefacción urbana y cogeneración, vertederos y otras instalaciones industriales que generan tanto CO₂ como aguas residuales ricas en nutrientes. Los prometedores resultados de la investigación han impulsado a las instituciones a incorporar las tecnologías de microalgas en sus estrategias ambientales y energéticas.

Un ejemplo de ello es el marco de la Unión Europea para el desarrollo de la bioeconomía, en el que las microalgas **ocupan un lugar destacado** (<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.626389>) como materia prima para tecnologías de protección ambiental, la producción de bioenergía y la extracción de nutrientes de alta calidad para las industrias alimentaria y de alimentos acuícolas. Se prevé que el sector de las microalgas desempeñe un papel cada vez más importante en la bioeconomía azul de la UE, especialmente en las zonas costeras.



Todo empieza con el whisky: empresa de Escocia aumentando la producción de biomasa de microalgas para alimentos de acuicultura y para mascotas

Con un enfoque de economía circular descentralizada para la producción de microalgas, MiAlgae está posicionada para contribuir a la creciente canasta de ingredientes alimentarios alternativos.



Global Seafood Alliance

Soluciones biotecnológicas complejas pero prometedoras

La literatura científica demuestra que las tecnologías de cultivo de microalgas se encuentran entre las soluciones **más prometedoras y sostenibles** (<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123233>) en el campo de la biotecnología. Numerosos estudios han destacado su competitividad, rentabilidad y **potencial para la producción de biocombustibles**. (<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103591>). A pesar de los importantes avances en investigación y la extensa información experimental, su implementación a escala industrial aún es limitada. Es crucial determinar qué aspectos tecnológicos deben optimizarse y qué obstáculos deben eliminarse para aprovechar al máximo el potencial de esta tecnología.

Los sistemas de microalgas basados en el aprovechamiento de aguas residuales y la posterior conversión de la biomasa en biocombustible son procesos complejos que **dependen de numerosos factores y parámetros** (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116118>), lo que limita significativamente su aplicabilidad comercial. Estas tecnologías son mucho más complejas en comparación con los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales y conversión de residuos en energía. En los procesos basados en lodos activados, por ejemplo, el **diseño de plantas a**

gran escala (<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.053>), se basa en varios parámetros clave, como la concentración de microflora bacteriana en el biorreactor, la carga orgánica del lodo, la carga hidráulica y el contenido de oxígeno.

Los **procesos anaeróbicos son aún más sencillos** (<https://doi.org/10.3390/su14084393>): su diseño y funcionamiento se basan principalmente en el índice de carga orgánica y el tiempo de retención hidráulica. La relativa simplicidad de estas soluciones es un factor importante para su amplia aplicación. Cabe destacar que estos sistemas **compiten en cierta medida con las tecnologías de microalgas** (<https://doi.org/10.3390/en14102742>), ya que generan lodos excedentes que pueden utilizarse para producir combustibles.

La mayor parte de la investigación realizada hasta la fecha es a escala de laboratorio

La mayoría de los experimentos sobre el uso de microalgas en el tratamiento de aguas residuales se realizan a **escala de laboratorio** (<https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102353>), lo cual constituye un obstáculo importante para su implementación industrial. Si bien los estudios a pequeña escala son invaluable para comprender los mecanismos bioquímicos y probar diferentes variantes tecnológicas, a menudo no proporcionan los datos necesarios para las evaluaciones económicas, ambientales y técnicas a nivel industrial. Se carece de información sobre el balance energético, la huella de carbono, los análisis de flujo de materiales y la estabilidad del proceso a largo plazo, entre otros aspectos.

Para aumentar el nivel de preparación tecnológica, se requiere una transición gradual del laboratorio a la escala piloto y, finalmente, a la operación a gran escala. Esta fase es crucial para la **definición precisa** (<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122685>) del tipo de materias primas, materiales, equipos y parámetros del proceso. Sin embargo, existen pocos informes en la literatura científica y técnica que **describen los aspectos técnicos y operativos** (<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b02876>) de las plantas de microalgas a gran escala.

Los análisis del ciclo de vida son cruciales

En el contexto de la evaluación ambiental, el análisis del ciclo de vida (ACV) desempeña un papel crucial. **Permite una evaluación fiable de los posibles flujos de residuos** (<https://doi.org/10.3390/bioengineering9110637>) (incluidas las aguas residuales, los lixiviados y los gases residuales) como elementos para aumentar la eficiencia económica y ambiental. Los resultados del ACV son importantes tanto para la optimización del proceso de cultivo como para la preparación de la documentación ambiental necesaria para los procesos de inversión. La integración de los resultados del ACV en las decisiones de diseño permite **minimizar el impacto ambiental** (<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110143>) de la tecnología y mejorar su eficiencia.

Sistemas simbióticos: Una nueva dirección de investigación

Una nueva dirección de investigación que puede impactar significativamente la eficiencia del tratamiento de aguas residuales con microalgas son los **sistemas sinbióticos** (<https://doi.org/10.32802/asmsci>) que combinan microalgas con bacterias, hongos o levaduras. El trabajo actual se centra en la optimización de las condiciones de cultivo, el análisis de las interacciones entre organismos autótrofos y heterótrofos, y sus efectos en los parámetros tecnológicos. En estos sistemas, las microalgas mejoran los procesos de degradación de nutrientes y

producen oxígeno, lo cual favorece el metabolismo de los microorganismos aeróbicos. Los **microorganismos heterótrofos** (<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126159>), a su vez, descomponen los contaminantes orgánicos en formas mineralizadas de elementos, favoreciendo así el crecimiento de las microalgas.

Otra ventaja significativa de los sistemas simbióticos es la mejora de las propiedades de sedimentación de la biomasa, lo que se traduce en menores costos de separación y deshidratación, que representan hasta la mitad de los costos totales del proceso. Además, se ha demostrado que estos sistemas tienen un **impacto positivo** (<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109563>) en la calidad y cantidad de biocombustibles y otros productos con valor de mercado.

Tecnologías de producción de bioenergía: una lenta materialización

A pesar de la amplia evidencia científica que confirma el potencial de las microalgas para la producción de bioenergía, estas tecnologías han tardado en materializarse. En su fase actual de desarrollo, no pueden competir con los combustibles fósiles, y la volatilidad de sus precios dificulta aún más la predicción del retorno de la inversión. El uso de aguas residuales como fuente de nutrientes puede mejorar la rentabilidad de las plantas de microalgas, pero requiere un pretratamiento para eliminar patógenos, impurezas y reducir la turbidez. Los altos niveles de materia orgánica y azufre en el medio pueden promover el crecimiento de microorganismos competidores, lo que limita el crecimiento de las microalgas y la eficiencia del proceso.

Los principales obstáculos para el desarrollo de tecnologías de microalgas incluyen la complejidad del proceso de cultivo, la falta de datos de plantas piloto y a gran escala que permitan una evaluación fiable del ciclo de vida, y la insuficiencia de apoyo regulatorio y financiero. Entre las posibles áreas de mejora se encuentran la optimización de procesos, el uso de ingeniería genética y el desarrollo de sistemas avanzados de monitorización y control de procesos.

Perspectivas

Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales acuícolas basadas en microalgas se consideran soluciones prometedoras con un gran potencial de aplicación. Sin embargo, existen barreras que limitan significativamente su rápida difusión. Las principales limitaciones incluyen los complejos y tecnológicamente exigentes procesos de cultivo y cosecha de biomasa, así como la insuficiente cantidad de datos operativos de plantas piloto y a gran escala, lo que a menudo impide una evaluación fiable de la eficiencia tecnológica y la rentabilidad.

Dados los avances tecnológicos actuales, se podrían lograr mejoras adicionales en el rendimiento mediante la aplicación de técnicas de optimización, ingeniería genética y un mejor control y monitorización de los procesos.

Authors



MARCIN ZIELIŃSKI

Corresponding author

Department of Environment Engineering, Faculty of Geoengineering, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Str. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn, Poland

marcin.zielinski@uwm.edu.pl (<mailto:marcin.zielinski@uwm.edu.pl>).



MARTA KISIELEWSKA

Department of Environment Engineering, Faculty of Geoengineering, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Str. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn, Poland



ANNAMARIA TALPALARU

Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection "Cristofor Simionescu," "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, 70005 Iasi, Romania



PAULINA RUSANOWSKA

Department of Environment Engineering, Faculty of Geoengineering, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Str. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn, Poland



JOANNA KAZIMIEROWICZ

Department of Water Supply and Sewage Systems, Faculty of Civil Engineering and Environmental Sciences, Bialystok University of Technology, 15-351 Bialystok, Poland



MARCIN DĘBOWSKI

Department of Environment Engineering, Faculty of Geoengineering, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Str. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn, Poland

Copyright © 2025 Global Seafood Alliance

All rights reserved.