

# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

## EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA DE LA ACUACULTURA EN UN BIORREACTOR AIR-LIFT

Adriana Tronco <sup>a</sup>, Joanna Ramírez <sup>a</sup>, Martín Cruz <sup>b</sup>, Jorge Gracida <sup>a</sup>, Rodrigo Melgarejo <sup>c</sup>, Dulce María Palmerín <sup>a</sup>,

<sup>a</sup> Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Qro., Querétaro, México. CP: 76010.

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería y Tecnología, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-Campo Uno, Universidad Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54740.

<sup>c</sup> Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, CDMX, México, C.P. 09340.

Autor de correspondencia: [dulce.palmerin@uaq.mx](mailto:dulce.palmerin@uaq.mx)

### Resumen

El incremento de la acuicultura para satisfacer el rápido crecimiento de la población también ha incrementado el uso y desperdicio de agua para esta práctica. Las aguas residuales de los estanques de la acuicultura productoras de mojarra de San Juan del Río, Qro., contienen nutrientes provenientes del estiércol de los peces. Estas aguas residuales se desechan en ríos y desembocan en lagos y océanos generando más contaminación. Los nutrientes nitrógeno y fósforo pueden estimular el crecimiento de algas. Estos nutrientes pueden ser aprovechados para el crecimiento de microalgas y producir biomasa como ingrediente nutricional para alimento de ganado o como fertilizante orgánico NPK. En este trabajo, se cultivó un consorcio de microalgas nativas de Tarimoro, Gto., y Tula, Hidalgo en un biorreactor air-lift para evaluar su potencial como fitorremediación para el tratamiento de aguas de una pesquería de San Juan del Río, Qro, determinando el efecto del consorcio en la eficiencia de remoción de contaminantes y demostrando el posible uso de la reutilización de agua en la acuicultura. En este trabajo hubo una remoción de nitratos, nitritos, amoníaco y fósforo de hasta 90%. El crecimiento celular máximo alcanzado fue de 15 g/L y 10 µg/mL de clorofila.

*Palabras clave:* acuicultura, biorreactor air-lift, fitorremediación

### Abstract

As aquaculture grows trying to supply the rapidly growing population, more water is used and wasted for this practice. The wastewater that comes out of farms is full of nutrients from fish manure. Unfortunately, this wastewater is dumped into rivers, creating nutrient pollution that ends up in our lakes and oceans. When dumped into the sea in large quantities, agricultural nutrients such as nitrogen and phosphorus can stimulate algae growth. The microalgae of aquatic bodies are fast growing that grow by absorbing nutrients from aquaculture water, transforming the biomass into a perfect functional and nutritional ingredient for livestock feed or as an organic NPK fertilizer. In this work, a consortium of native microalgae was cultivated in an air-lift bioreactor to evaluate their respective potential for the treatment of real aquaculture wastewater from a fishery, determining the effect of the consortium on the efficiency of contaminant removal demonstrating the possible use of water reuse in aquaculture.



# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023



In this work there was a removal of nitrates, nitrites, ammonia and phosphorus of up to 90 %. The maximum cell growth achieved was 15 g/L and 10 µg/mL chlorophyll.

*Key words: aquaculture, air-lift bioreactor, phycoremediation*

## *Introducción*

La producción acuícola mundial deberá alcanzar los 102 millones de toneladas para 2025 para mantener el nivel actual de consumo (FAO 2016). En la actualidad, el rápido desarrollo de la acuicultura ha causado graves problemas ambientales, especialmente el del tratamiento de aguas residuales (Latif et al., 2022). El efluente de esta industria es rico en carbono orgánico disuelto, compuestos nitrogenados (amoníaco, nitrito y nitrato) y fósforo, lo cual induce la proliferación de algas, deteriorando el ecosistema acuático natural si las aguas residuales no se tratan adecuadamente (Davoodikia et al., 2021 y Koul et al., 2022). Actualmente una de las fuentes principales de contaminación del agua es la acuicultura. Esta actividad aumenta su demanda a un ritmo acelerado, lo que se ve reflejado en el aumento de producción. En el 2018 se produjeron alrededor de 82.1 millones de toneladas de peces a nivel mundial (Crespo y Jiménez, 2021). En México la producción pesquera creció a 2 millones de toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México, 2022).

La fitorremediación de aguas residuales ha recibido atención en los últimos años ya que las microalgas pueden asimilar el nitrógeno y fósforo para producir biomasa, además pueden acumular proteínas y

lípidos, (Kaloudas et al., 2021). En comparación con el método convencional de remediación, las técnicas de fitorremediación logran reducciones de costos y proporcionan bio-tratamiento terciario mientras se produce biomasa de alto valor agregado. La biomasa de las microalgas contiene tres componentes principales: las proteínas, cuyo porcentaje sobre el peso seco puede variar del 46-63%; los carbohidratos, con porcentajes entre el 10-17%; y los lípidos, con 4-61% (Mulumba y Farag, 2012). En menor medida; se encuentran los ácidos nucleicos. De todas ellas, los lípidos son las biomoléculas de mayor interés en el proceso de obtención de biocombustibles (Richmond, 2004). También, por medio de la fitorremediación se pueden eliminar metales pesados, así como sustancias orgánicas tóxicas, sin producir contaminación secundaria (Stephen et al., 2021). La fitorremediación con microalgas permite mediante enzimas como la glucosa oxidasa la ruptura de la melanoidina, que se encuentra presente en aguas residuales Kalavathi et al., (2001). Compuestos como la glutamina reducida, la riboflavina y el ácido ascórbico podrían utilizarse para mejorar la tasa de degradación de aguas residuales por parte de las microalgas. El peróxido de hidrógeno, un fuerte agente oxidante producido por las microalgas durante el



# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

proceso fotosintético, se considera el agente fundamentalmente implicado en el tratamiento de aguas residuales industriales por parte de las microalgas (Krishnamoorthy & Manickam, 2021).

## Algas y microalgas

Las algas comprenden tanto las macroalgas marinas (más comúnmente conocidas como algas marinas) como las microalgas. Especies de microalgas como *Scenedesmus*, se encuentran en agua dulce y se usan en gran medida como fuentes potenciales de biodiesel y durante procesos de purificación de aguas residuales, ya que proporcionan oxígeno para la descomposición de materia orgánica (Britannica, 2022). Las microalgas pertenecientes al género *Chlorella* han sido de las primeras microalgas consideradas para cultivo masivo y producidas comercialmente, pues se consideran una fuente de alimento rica en proteínas, aunque también se han propuesto como fuente de biocombustible (Borowitzka et al., 2018). Las especies de *Chlorella* son principalmente de agua dulce, comúnmente se encuentran en aguas muy ricas en nutrientes. También se encuentran en suelos (Borowitzka et al., 2018).

## Biorreactor air-lift

Los fotobiorreactores son los sistemas más adecuados para el crecimiento de microalgas. Se debe considerar la selección, diseño y construcción de un biorreactor con un efectivo suministro de luz, el control

de temperatura, mezclado y pH debe ser eficiente (Ramírez et al., 2013 y López et al., 2010). Este tipo de biorreactores se han utilizado ampliamente en industrias biotecnológicas, químicas y en tratamiento de agua debido a su fácil construcción, bajo consumo de energía, alta eficiencia, mejor mezcla y la transferencia de masa es relativamente alta (Hernández et al., 2022 y Luo et al., 2011).

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes provenientes de agua usada en la acuicultura, mediante un consorcio de microalgas nativas aisladas de cuerpos acuáticos de Tarimoro, Gto y Tula, Hidalgo, empleando un reactor air-lift.

## Metodología

El consorcio de microalgas de los géneros *Chlorella* (12%), *Scenedesmus* (23%), *Euglena* (12%), *Nitzschia* (8%), *Golenkinia* (11%), *Pediastrum* (16%) y *Staurastrum* (18%), fueron precultivadas en medio BG11 formulado con macronutrientes [g/L]:  $K_2HPO_4$  0.04,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0.08, Ácido Cítrico. $H_2O$   $6.0 \times 10^{-3}$ , Citrato amonio férrico. $2H_2O$   $6.0 \times 10^{-3}$ ,  $Na_2EDTA \cdot 2H_2O$   $1.0 \times 10^{-3}$ ,  $Na_2CO_3$  0.02; micronutrientes [g/L]:  $H_3BO_3$   $2.8 \times 10^{-3}$ ,  $MnCl_2$   $1.8 \times 10^{-3}$ ,  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$   $0.2 \times 10^{-3}$ ,  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$   $0.4 \times 10^{-3}$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$   $0.08 \times 10^{-3}$ ,  $CO(NO_3)_2 \cdot 5H_2O$   $0.05 \times 10^{-3}$ , durante 15 días en un frasco-biorreactor con 0.1 vvm de flujo de aire a 30°C.

# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

Los sedimentos se lavan con agua desionizada y se centrifugan. Luego, la pastilla se re suspende en 200 mL de agua residual de la acuicultura (Rancho Monji, San Juan del Río, Qro) y se inocularon  $1 \times 10^6$  cel/ml en un biorreactor air-lift de 4 L que contenía 3.75 L de agua residual de la acuicultura, manteniendo un flujo de aire de 1 vvm y 30°C. Se evaluó el consumo de los contaminantes, durante 26 días en el biorreactor.

## Determinación de la calidad de agua

Para la determinación de la calidad del agua, la suspensión de microalgas se centrifugó a 5000 rpm durante 5 min y el sobrenadante se filtró a través de una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$ . A este sobrenadante se le determinó nitratos, nitritos, amonio y fósforo total por absorbancia, pH y conductividad eléctrica de acuerdo a Gholipour et al., 2020. La biomasa separada se utilizó para cuantificar peso seco y clorofila disponible en cada

muestra (Mera et al., 2016). Todas las muestras fueron cuantificadas por triplicado.

## Resultados

Para la evaluación de contaminantes presentes en el agua de acuicultura, se obtuvieron los datos iniciales del agua para producción de mojarra del Rancho Monji después de 15 días de crecimiento de los peces (Tabla 1). Se compara con un análisis de datos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el uso de agua potable. Lo cual, se encontró concentrado en contaminantes y conductividad, respecto a lo indicado por la OMS. Esta agua es desechada, contaminando el suelo o ríos. La conductividad es una medida de la capacidad del agua para transmitir corriente eléctrica, en función de las sales disueltas y otras sustancias químicas inorgánicas conducen la corriente eléctrica, la conductividad aumenta a medida que aumenta la salinidad (Qasem et al., 2021).

**Tabla 1.** Cuantificación de contaminantes iniciales del agua de la granja Monji, San Juan del Río, Qro.

Agua	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Amonio (mg/L)
Rancho Monji	1272	5.94	$2400 \pm 9.21$	$4.76 \pm 0.76$	$926.75 \pm 5.12$	$63.31 \pm 3.01$
Potable (OMS)	400-800	6.5-7.5	50	0.5	0.1	0.5

El pH fluctúa en los estanques de acuicultura, con un pH de 7 a 8, al principio del día, aumentando hasta un valor de 9.5 (Boyd Claude E., 2019). Esto da un valor de referencia para comparar con el pH de la muestra, que proviene de un criadero de mojarra, y cuyo valor

de pH se encuentra fuera del rango antes mencionado, (5.94).

El amoníaco es un compuesto extremadamente tóxico para los peces, valores menores a 1 mg/L,

# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

comprometen la supervivencia de muchas especies e incrementan el estrés en muchas otras, dependiendo el tiempo de exposición. Según la especie, este compuesto puede ser tóxico, desde 0.08 mg/L para peces como los Salmónidos hasta 2.2 mg/L para las carpas (SAGARPA, 2018). Generalmente los peces de agua dulce son más tolerantes que los de agua salada (Blancas-Arroyo et al., 2014). La muestra resultó

mayor a 1 mg/L de  $\text{NH}_4/\text{NH}_3$ , un valor peligroso para la vida acuática, sin embargo, la muestra se tomó a los 15 días de que se realizara el recambio de agua. Posteriormente, se realizó el conteo de células del consorcio de microalgas, para la obtención de inóculo en el biorreactor air-lift. Las microalgas nativas se pueden apreciar en la Figura 1.



*Figura 1. Consorcio de microalgas nativas utilizadas en el bioproceso.*

El inóculo añadido al biorreactor fue de  $1 \times 10^6$  células/mL, manteniendo un flujo de aire de 1 vvm y  $30^\circ\text{C}$ .

En la Figura 3 se muestra el perfil de consumo de nitratos y nitritos del agua de la granja de mojarra, en

el biorreactor air-lift, durante 26 días de bioproceso. El cambio regular de agua junto con la aireación frecuente disminuyó la concentración de los nitritos (Ciji et al., 2019).

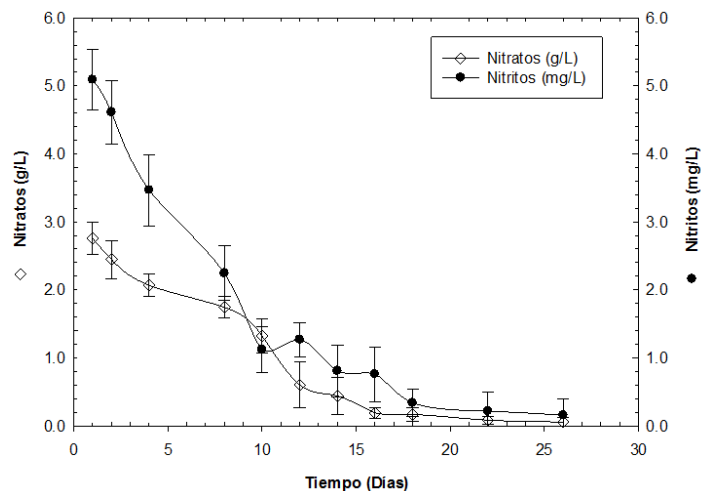
# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA

## IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023



**Figura 2.** Biorreactor air-lift empleado para la evaluación del tratamiento de agua de acuicultura. a) inicio del proceso; b) biorreactor al final del proceso.



**Figura 3.** Cinéticas de consumo de nitratos y nitritos, durante 26 días de bioproceso, en el biorreactor air-lift a 1 vvm y 30°C.

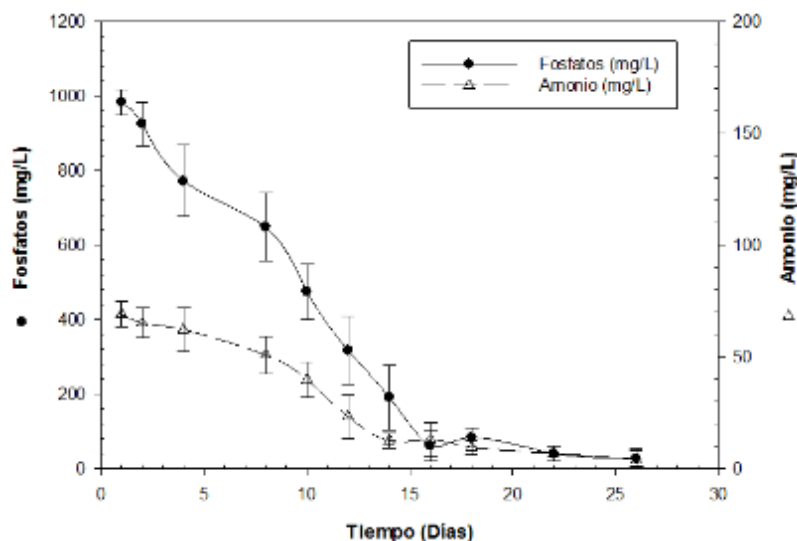
Se observa en las Figuras 3 y 4, que existe un consumo de contaminantes por el consorcio de microalgas nativas, dentro de los primeros 12 días de bioproceso. Por lo que, la fitorremediación es una

alternativa eficiente para el tratamiento de aguas de acuicultura.

Jian Sun et al., (2020), demostraron que 100 mg/L de nitrógeno amoniacal se eliminan por completo en 90 h

utilizando un biocátodo de algas y bacterias, los autores atribuyen principalmente a la actividad de los oxidantes de amoníaco en presencia de oxígeno

fotosintético y el nitrato/nitrito resultante se eliminó de forma acelerada mediante la desnitrificación bioelectroquímica catódica.



**Figura 4.** Cinéticas de consumo de fosfatos y amonio, durante 26 días de bioproceso, en un biorreactor air-lift a 1 vvm y 30°C.

El consumo de fosfatos parece ser más rápido, pues a partir del tercer día se muestra un cambio de pendiente (Figura 4), en comparación con el de nitratos, nitritos y amonio, que muestran un cambio más notorio en su pendiente a partir de los días 12 respectivamente (Figura 3). Arbib et al., 2014, reportan un comportamiento similar para el consumo de fosfato por las especies *Chlorella vulgaris*, *Chlorella Kessleri* y *Scenedesmus obliquus*, lo cual podría indicar que ciertas especies de microalgas tienen preferencia por un tipo de nutriente en específico, en este caso por los fosfatos.

Dentro de la clasificación de los pigmentos se encuentran los carotenoides, clorofilas y ficobilinas. El autor, Kim (2015) encontró que la microalga *Chlorella* spp., a 0.5 vvm en un reactor tubular, contiene una alta cantidad en luteína y clorofilas a, b, 0.45% y hasta 4.5% peso seco, respectivamente. En este consorcio de microalgas, contamos con el género *Chlorella*, por lo que se espera obtener una cantidad de clorofila superior.

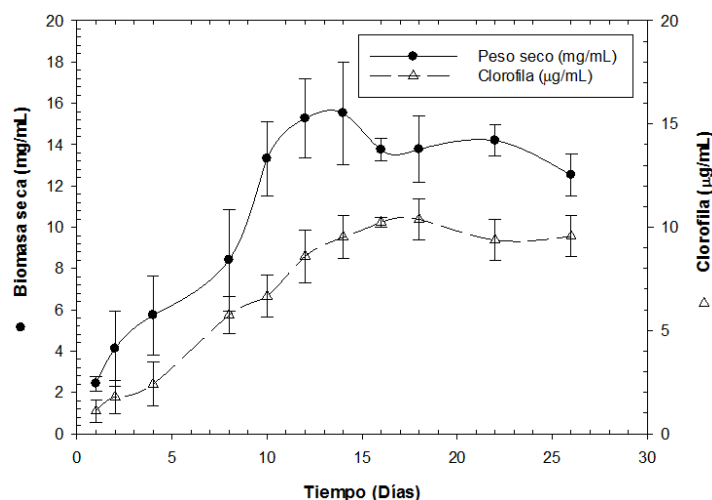
Con respecto al crecimiento celular, (Figura 5) este ocurre dentro de los 12 a 15 días, esto puede deberse a que no todos los nutrientes consumidos por las

# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

microalgas son utilizados para su crecimiento, ya que tienden a consumir nitrógeno y fósforo en exceso, a esto se le conoce como “luxury uptake” (Haro y Perales, 2015). La velocidad de crecimiento podría

incrementarse proporcionando al biorreactor una mejor calidad de luz, ya que en este estudio se trabajó con 12 h luz natural y 12 h en oscuridad.

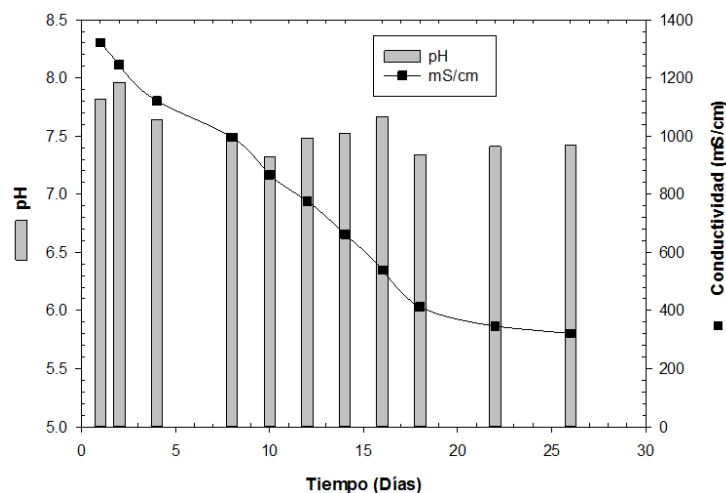


**Figura 5.** Cinéticas de producción de biomasa y clorofila, durante 26 días de bioproceso, en un biorreactor air-lift a 1 vvm y 30°C.

La biomasa de microalgas se utiliza en la acuicultura como alimento, potenciadores del crecimiento e inmunoestimulantes en peces. Los resultados obtenidos muestran un incremento de biomasa seca de hasta 15 g/L a los 13 días de bioproceso, así como la concentración de clorofila con 9.8 µg/mL al finalizar el bioproceso. Se ha observado que la disminución de la concentración de sal da como resultado un incremento de los niveles de clorofila (Hiremath & Mathad 2010). En este estudio se observa un incremento de clorofila conforme disminuye la cantidad de sales presentes en el agua (Figura 6). La concentración de clorofila-a por encima de 0.2 mg/m<sup>3</sup>

tiene un efecto positivo para aumentar la actividad planctónica que, en última instancia, ayuda a mejorar la actividad de los peces (Zainuddin et al. 2004). Esto significa, que la clorofila producida en este estudio podría ser utilizada como alimento para plancton, o pigmentos comerciales para aplicaciones industriales. Con respecto al pH, este tuvo un valor final al día 12 de pH 7.5, lo cual es un valor dentro del rango adecuado para acuicultura, pero, aunque se muestra un aumento del pH, se requiere monitorear constantemente para observar mejor el comportamiento de este y comparar con el consumo de los diferentes nutrientes (Figura 6).





**Figura 6.** Cinéticas de pH y conductividad, durante 26 días de bioproceso, en un biorreactor air-lift a 1 vvm y 30°C.

La remoción total de nutrientes que se ha descrito en la literatura varía dependiendo principalmente de la o las especies de microalgas y el tipo de agua o medio utilizado. A la microalga *Chlorella vulgaris* se le ha asignado una eficiencia de remoción de 86% de nitrógeno inorgánico y 70% de fósforo inorgánico (Tam y Wong, 1996; Abdel-Raouf, et al., 2012). Hammouda et al., (1995), obtuvieron un consumo del 100% de nitrato, amonio y fósforo luego de 36, 42 y 48 días respectivamente, en cultivos de laboratorio utilizando *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp. Nuestros resultados presentaron un consumo del 80% de contaminantes a los 12 días del bioproceso, en el cual se utilizó un consorcio de microalgas, con una notable presencia de *Chlorella* sp (12%) y *Scenedesmus* (23%). Finalmente se registró un consumo de: nitrato del 95%, consumiendo un total de 2400 mg/L en 26 días; fosfato del 90% consumiendo un total de 927 mg/L en 26 días; nitritos del 95% consumiendo un total de 5

mg/L en 26 días; amonio del 96% consumiendo un total de 63 mg/L en 26 días.

### Conclusiones

El uso del consorcio de microalgas nativas de los cuerpos de agua de Tarimoro, Gto., y Tula, Hidalgo, es una alternativa para la limpieza de contaminantes presentes en aguas de granjas productoras de mojarra en San Juan del Río, Qro. Por lo tanto, este trabajo presenta una propuesta de inóculo, para reutilizar la propia agua en la producción de peces. Sin embargo, es necesario estudiar más a fondo las variables como la intensidad de luz, el inóculo inicial o la cantidad inicial de nutrientes en el biorreactor air-lift para conocer cuáles serían los valores óptimos y obtener el mayor consumo de contaminantes presentes en el agua residual, en el menor tiempo posible. Adicionalmente, la obtención de biomasa le da un valor agregado al proceso, pues actualmente se



# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

estudian múltiples usos que se le puede dar, entre los que destaca el uso en biocombustibles, piensos y fertilizantes NPK, es por estas razones que podemos concluir que el cultivo de microalgas es ambientalmente atractivo.

### *Conflictos de interés*

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

### *Financiamiento*

Esta investigación fue financiada por la UAQ (FOPER-2022-FQU02683).

### *Referencias*

Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi journal of biological sciences*, 19(3), 257-275.

Arbib, Z., Ruiz, J., Álvarez-Díaz, P., Garrido-Pérez, C., & Perales, J. A. (2014). Capability of different microalgae species for phytoremediation processes: Wastewater tertiary treatment, CO<sub>2</sub> bio-fixation and low cost biofuels production. *Water Research*, 49, 465–474. doi:10.1016/j.waters.2013.10.036.

Blancas-Arroyo, G. A., Frías-Sevilla, R., la Rosa-Pimentel, D., Suárez-Navarro, V., Castro-Gómez, J. R., & Magaña-Morales, J. (2014). Efecto de la salinidad en la sobrevivencia de peces silvestres del

género *Chirostoma* durante el transporte y mantenimiento en laboratorio. *Hidrobiológica*, 24(3), 223-230.

Borowitzka, M. (2018) Chapter 3 - Biology of Microalgae. En I. Levine & J. Fleurence (Eds.), *Microalgae in Health and Disease Prevention* (pp 23-72). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7>.

Boyd, C. E. (2019). *Water quality: an introduction*. Springer Nature. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Scenedesmus". Encyclopedia Britannica, 15 Nov. 2018, <https://www.britannica.com/science/Scenedesmus>. Accessed 6 April 2023.

Crespo, J. M., & Jiménez, A. (2021). Hacia el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura en México. *Cuadernos Geográficos*, 60(3), 6-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.15953>.

Ciji, Alexander & Akhtar, M S. (2019). Nitrite implications and its management strategies in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*. 12. 10.1111/raq.12354.

Davoodikia M., Kamran Rezaei Tavabe, Ali Mashincian Moradi. 2021. Evaluation of the common duckweed (*Lemna minor*) phytoremediation on nitrate, phosphate, cadmium and lead parameters reduction



# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

from aquaculture wastewater and determination of the heavy metals effects on this species growth inhibition. *J. of aquaculture sciences*.FAO (2016) State of World Fisheries and Aquaculture: Contributing to Food Security and Nutrition for All, p. 266. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome. Italy

Gholipour, M., Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A. *et al.* Facilitated decrease of anions and cations in influent and effluent of sewage treatment plant by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*): the uptake of nitrate, nitrite, ammonium, and phosphate. *Environ Sci Pollut Res* **27**, 21506–21516 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08677-5>

Hammouda, O., Gaber, A., & Abdelraouf, N. (1995). Microalgae and wastewater treatment. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 31(3), 205-210.

Haro, S., & Perales, J. A. (2015). Cinética de consumo de nutrientes y crecimiento de un bloom de microalgas en un fotobiorreactor High Rate Algae Pond (HRAP). *Tecnología y ciencias del agua*, 6 (3): 15-31.

Hernández AG, Aparicio G, Martínez Trujillo MA, Cruz Díaz MR. (2022). Modelo de dispersión axial para la producción de pectinasas por *Aspergillus flavipes* FP-500, en un biorreactor airlift de tubos concéntricos. *Memorias del XLIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ*. 457–462.

Hiremath S, Mathad P. (2010). Impact of salinity on the physiological and biochemical traits of *Chlorella vulgaris* Beijerinck. *Journal of Algal Biomass Utilisation* 1: 51–59.

Jian Sun, Nan Li, Ping Yang, Yaping Zhang, Yong Yuan, Xingwen Lu, Hongguo Zhang, (2020). Simultaneous antibiotic degradation, nitrogen removal and power generation in a microalgae-bacteria powered biofuel cell designed for aquaculture wastewater treatment and energy recovery, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, (18), 10871-10881, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.029>.

Kalavathi D., Uma L, Subramanian G. (2001). Degradation and metabolization of the pigment—melanoidin in distillery effluent by the marine cyanobacterium *Oscillatoria boryana* BDU 92181. *Enzyme and Microbial Technology*, 29 (4–5), 246-251, [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00383-0](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00383-0).

Kaloudas, D., Pavlova, N. & Penchovsky, R. Phycoremediation of wastewater by microalgae: a review. (2021). *Environ Chem Lett* **19**, 2905–2920. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01203-0>.

Koul, B., Sharma, K., & Shah, M. P. (2022). Phycoremediation: A sustainable alternative in wastewater treatment (WWT) regime. *Environmental Technology & Innovation*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102040>



# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

Krishnamoorthy, S., & Manickam, P. (2021). Phycoremediation of industrial wastewater: challenges and prospects. *Bioremediation for Environmental Sustainability*, 99–123. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820318-7.00005-8>.

Latif Ahmad A., Jing Yi Chin, Mohd Hazarel Zairy Mohd Harun, Siew Chun Low. 2022. Environmental impacts and imperative technologies towards sustainable treatment of aquaculture wastewater: A review. *Journal of Water Process Engineering* 46, 102553. DOI:[10.1016/j.jwpe.2021.102553](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102553)

López, A; Rojas, C. (2010). Diseño y montaje de un fotobiorreactor a escala laboratorio para la producción de microalgas (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Luo, L; Liu, F; Xu, Y; Yuan, J. (2011). Hydrodynamics and mass transfer characteristics in an internal loop airlift reactor with different spargers. *Chemical Engineering Journal*, Mera, R., Torres, E., & Abalde, J. (2016). Effects of sodium sulfate on the freshwater microalga *Chlamydomonas moewusii*: implications for the optimization of algal culture media. *Journal of Phycology*, 52(1), 75-88. <https://doi.org/10.1111/jpy.12367>

Mulumba, N., and Farag, I. H. (2012) Tubular photobioreactor for microalgae biodiesel production,

*International Journal of Engineering Science and Technology*, 4 (2): 703-709.

Qasem, N. A., Generous, M. M., Qureshi, B. A., & Zubair, S. M. (2021). A comprehensive review of saline water correlations and data: part II—thermophysical properties. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46, 1941-1979.

<https://doi.org/10.1007/s13369-020-05020-5>

Ramírez-Mérida, Luis & Zepka, Leila & Jacob-Lopes, Eduardo. (2013). FOTOBIORREACTOR: HERRAMIENTA PARA CULTIVO DE CIANOBACTERIAS. *Ciencia y Tecnología*. 6. 9-19. 10.18779/cyt.v6i2.178

Richmond, A. (Ed.). 2004. *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Publishing Company. Reino Unido. Stephen, D., Suresh, P., Manikandan, S., Subbaiya, R., Govarthanan, M., Karmegam, N. (2021).

Phycoremediation of wastewater for pollutant removal: A green approach to environmental protection and long-term remediation. *Environmental Pollution*, 290.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117989>

Tam, N. F. Y., & Wong, Y. (1996). Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. *Bioresour technology*, 57(1), 45-50.



# XX CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA IXTAPA ZIHUATANEJO, GUERRERO

Del 11 al 15 de septiembre de 2023

Wuang, S., Khin M.C, Chua, P. Q. D, & Luo, Y. D. (2016). Use of spirulina biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal Res* 15:59–64. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.02.009>

Zainuddin M, Saitoh S, Saitoh K. (2004). Detection of potential fishing ground for albacore tuna using synoptic measurements of ocean color and thermal remote sensing in the northwestern North Pacific. *Geophysical Research Letters* 31: 1–4

<https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/drinking-water>

[http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_secretaria\\_de\\_agricultura\\_ganaderia\\_desarrollo\\_rural\\_pesca\\_y\\_alimentacion\\_nacional-sagarpa-n.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_secretaria_de_agricultura_ganaderia_desarrollo_rural_pesca_y_alimentacion_nacional-sagarpa-n.htm)

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-en-mexico>