

Remoción de nitratos y fosfatos de agua residual mediante el uso de microalgas altioplánicas a nivel experimental

Removal of nitrates and phosphates from wastewater through the use of highland microalgae at an experimental level

Janeth Fidelia Luque Tumiri

Escuela Militar de Ingeniería, Unidad Académica La Paz, Bolivia

janeth.luque.t@gmail.com

Resumen: El agua residual representa un reto en cuanto a su tratamiento, debido a que su disposición en un cuerpo de agua generalmente ocasiona impactos negativos de alta magnitud, por lo que la aplicación de algún tratamiento es importante; un inconveniente son las altas cantidades de nutrientes, como nitratos y fosfatos, llegando a desencadenar problemas de eutrofización en los cuerpos receptores, por lo que la reducción de estos parámetros es relevante, en este sentido es posible el uso de microalgas para la remoción de estos, además de significar un tratamiento económico y con impacto positivo en la captura de dióxido de carbono.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la remoción de nitratos y fosfatos de agua residual domestica por acción de un consorcio de algas, compuesto por: *Microcystis sp.*, *Scenedesmus sp.* y *Lyngbya sp.* El crecimiento y por tanto el proceso de remoción se realizó en fotobiorreactores de tipo columna de burbujeo, realizando una inyección de aire durante 12 horas al día y se utilizó luz natural y artificial. Se evaluó la cinética de crecimiento (concentración de clorofila por el método tricromático), concentración de nitratos (método colorimétrico por reducción de cadmio), concentración de fosfatos (método colorimétrico, ácido ascórbico) y otros.

Se determinó la máxima remoción de nutrientes hasta el día 55, tiempo en el que el cultivo se encontraba en fase de muerte; como mejor porcentaje de remoción de nitratos se obtuvo 75,84% y un 93,75% de remoción de fosfatos.

Palabras clave: tratamiento, remoción, microalgas, nitratos, fosfatos.

Abstract: Wastewater represents a challenge in terms of its treatment, because its disposal in a water body generally causes negative impacts of high magnitude, so the application of some treatment is important; a disadvantage is the high amounts of nutrients, such as nitrates and phosphates, causing eutrophication problems in the recipient bodies, so the reduction of these parameters is relevant, in this sense it is possible to use microalgae for the removal these, in addition to meaning an economic treatment and with a positive impact on the capture of carbon dioxide.

The objective of this study was evaluating the removal of nitrates and phosphates from domestic wastewater by an algae consortium, composed of *Microcystis sp.*, *Scenedesmus sp.* and *Lyngbya sp.* The growth and the removal process were carried out in photobioreactors bubble column type, with an air injection for 12 hours per day and natural and artificial light were used. There were determinate the growth kinetics (chlorophyll concentration by the trichromatic method), nitrate concentration (colorimetric method by cadmium reduction), phosphate concentration (colorimetric method, ascorbic acid) and others were evaluated.

The maximum nutrient removal was determined until day 55, at which time the algae culture was in death phase; the best percentage of nitrate removal was 75.84% and 93.75% phosphate removal.

Keywords: treatment, removal, microalgae, nitrates, phosphates.

1. Introducción

Las actividades humanas generan gran cantidad de efluentes con alta carga de contaminantes hacia cuerpos de agua ocasionando su desequilibrio, así por ejemplo altas cantidades de nutrientes como nitratos y fosfatos pueden llegar a ocasionar problemas de eutrofización, desbalance en su pH natural, ciertas dosis de estos compuestos pueden ser tóxicos para la vida acuática, etc. (5) (13)

Una alternativa de tratamiento para la captura de nutrientes pueden ser las microalgas debido a su metabolismo fotosintético que capturan la luz solar, dióxido de carbono y fijan nutrientes del medio para generar biomasa; por lo tanto, pueden ser utilizadas para la remoción de fósforo y nitrógeno de las aguas residuales. En muchos casos estos organismos son útiles para un tratamiento terciario o biológico, el exceso de estos nutrientes produciría eutrofización en cuerpos de agua receptores, lo que desencadenaría serios problemas ambientales, por lo que el aprovechamiento de nutrientes remanentes como materia prima para la generación de biomasa y por lo tanto de combustibles es posible. (4) (6)

Entre las ventajas del uso de microalgas se destacan las siguientes:

- Las microalgas se pueden reproducir durante todo el año
- Tienen una rápida tasa de crecimiento ya que pueden duplicar su biomasa rápidamente.
- Representan sumideros de dióxido de carbono.
- Tienen ciclos de cosecha relativamente cortos
- Su manipulación genética es mucho más sencilla.
- Para su producción no se requieren gran cantidad de insumos.
- Costos relativamente reducidos.

- Altas tasas de remoción de nutrientes y otros compuestos.
- La biomasa algal puede ser empleada para la producción de biocombustibles, fertilizantes, y una diversidad de productos.

Las microalgas pueden producirse en sistemas cerrados y abiertos. Los sistemas abiertos involucran estanques poco profundos, sin embargo, uno de los más grandes inconvenientes es la contaminación de los medios. Los sistemas cerrados o fotobiorreactores (FBRs) son más diversos en cuanto a diseño pudiendo encontrar el tipo placa, tubular, columna de burbujeo y otros, sin embargo, un gran inconveniente son sus elevados costos. (2) (11) (14) (15)

2. Metodología

Para la presente investigación se realizó un proceso experimental que involucro desde el establecimiento del sistema de crecimiento de las microalgas hasta la determinación de la remoción de nitrato y fosfatos, y la posterior comparación con otras referencias bibliográficas.

En cuanto al sistema de crecimiento, se utilizaron diferentes subunidades cada una constó de un fotobiorreactor (FBRs) simulado, usando como referencia el FBR tubular vertical o también denominado tipo columna de burbujeo. El mencionado FBR consto de: un sistema de inyección de aire, para el cual se utilizó un motor de aire modelo SB-988, introduciendo aire durante 12 horas al día; un sistema de iluminación, empleando luz artificial (foco LED luz blanca) y radiación solar natural, aplicando 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, simulando así condiciones naturales; y un sistema de monitoreo, evaluando principalmente concentración de clorofila, pH, oxígeno disuelto, nitratos y fosfato.

El agua residual domestica (A.R.) empleada provino del efluente de salida del edificio estudiantil la Escuela Militar de Ingeniería, Unidad Académica La Paz, Alto Irpavi (16°31'43.65"S; 68° 4'53.40"O). Para la toma de muestras se utilizó botellas de plástico transparente y limpias, en el punto de muestreo se purgo el envase tres veces antes de tomar la muestra, y las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente de 15 °C y mantenidas en oscuridad hasta su traslado al laboratorio.

Para el establecimiento del agua residual como medio de cultivo, se realizó tres diluciones: 25, 50 y 75% de A.R, como disolvente se utilizó agua destilada, esta dilución se hizo debido a la alta turbidez y además que el A.R. empleada provino de un efluente primario.

Posteriormente en los medios con A.R. se sembró 10 ml de un concentrado algal, el cual contenía una concentración de clorofila total de 6566,73 mg m⁻³ (Cl a=659,07; Cl b=4857,68; Cl c=1049,97), compuesto por tres especies *Microcystis sp.*,

Scenedesmus sp. y *Lyngbya sp.*, cabe destacar que este consorcio microalgal no se encontraba adaptado al agua residual.

Durante el lapso de crecimiento de los cultivos se evaluó la cinética de crecimiento del consorcio microalgal este se cuantificó mediante la concentración de clorofila, por lo cual se optó por el Método Tricromático. (1) (12)

Finalmente, para determinar los porcentajes de remoción de nutrientes, se determinó las concentraciones iniciales y finales (previo filtrado del medio con algas); para la cuantificación de nitratos se siguió el protocolo establecido en el manual del Colorímetro HACH DR 3900, aplicando el Método por reducción de cadmio. En cuanto a las concentraciones de fosfatos se empleó el de igual manera el mencionado manual, aplicando el método de ácido ascórbico.

3. Resultados y Discusiones

Los resultados del análisis fisicoquímico al agua residual doméstica bruta empleada para la presente investigación se describen en la Tabla 1, destacando así un pH óptimo para el cultivo de algas, alta turbidez, y la presencia de nitratos y fosfatos, que además muestra una correlación con la conductividad.

Tabla 1. Análisis fisicoquímico del Agua residual doméstica

Parámetro	Unidades	A.R. Doméstica
pH	-	8,72 ± 0,09
Turbidez	NTU	93,41 ± 0,49
Conductividad eléctrica	μS cm ⁻¹	1893,37 ± 4,26
Nitratos	mg L ⁻¹	3,62 ± 0,01
Fosfatos	mg L ⁻¹	4,80 ± 0,01

En cuanto a los medios de cultivo, se determinó la tendencia de crecimiento mediante la concentración de clorofila. En la Figura 1, se muestra el medio con A.R. al 75%, se considera que el periodo de adaptación fue hasta alrededor del día 24, la máxima productividad se presentó en el día 55 de cultivo teniendo una concentración de clorofila de 1841,966 mg m⁻³ y posterior a este se evidenció la fase de muerte.

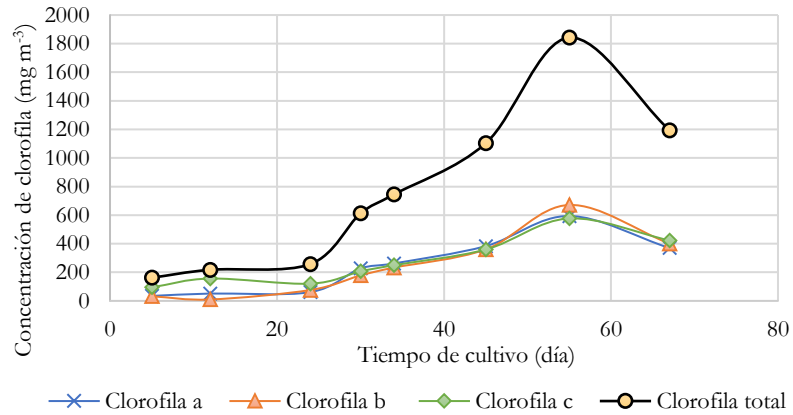


Figura 1: Tendencia de crecimiento del medio de cultivo con agua residual al 75%.

La figura 2, indica la tendencia de crecimiento del consorcio algal del medio con A.R. al 50%, alrededor del día 34 se evidencia una fase de crecimiento gradual, sin embargo, la máxima productividad se presenta en el día 45, con una concentración de clorofila total de 1308,288 mg m⁻³ y finalmente el medio ingresa a la fase de muerte en los días posteriores.

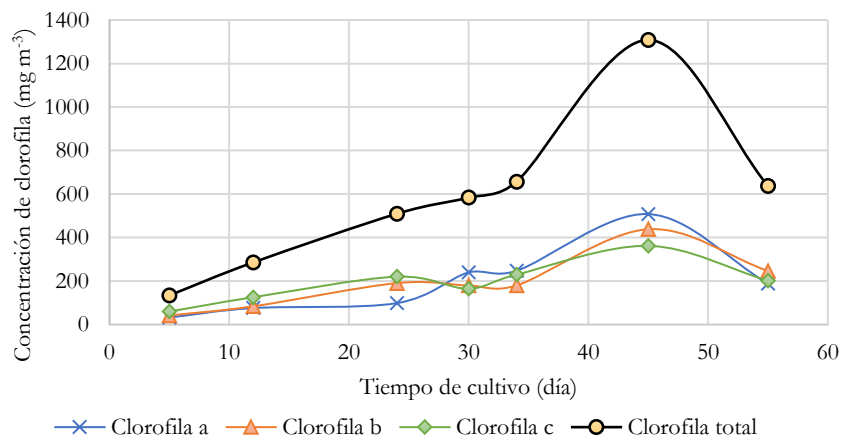


Figura 2: Tendencia de crecimiento del medio de cultivo con agua residual al 50%.

La tendencia de crecimiento del medio con agua residual al 25% (figura 3), indica un crecimiento gradual hasta el día 34 de cultivo, un incremento máximo hasta el día 45, en el que se obtuvo como mayor productividad 1041,104 mg m⁻³ de clorofila total.

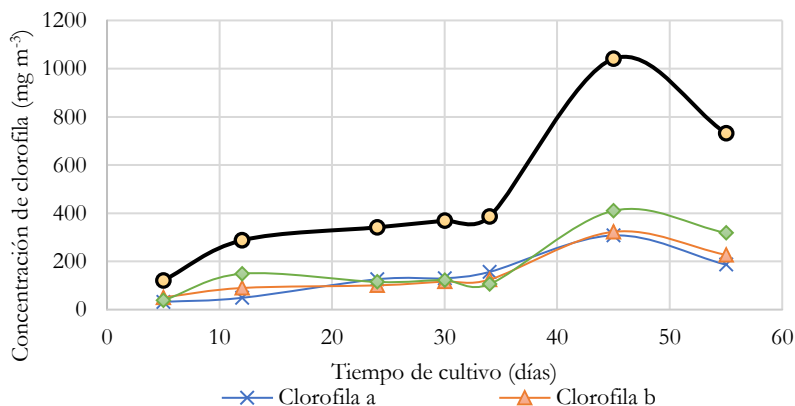


Figura 3: Tendencia de crecimiento del medio de cultivo con agua residual al 25%.

En cuanto a la determinación de los porcentajes de remoción de nitratos, la figura 4 muestra una comparación grafica de los porcentajes de remoción obtenidos en cada dilución con agua residual, además de las concentraciones de nitratos iniciales y finales. Así por ejemplo se evidencia que el cultivo con A.R. al 50%, fue el que presento mayor porcentaje de remoción, siendo este un 75,84%, partiendo de una concentración de 2,07 mg L⁻¹ hasta 0,60 mg L⁻¹ de nitratos.

La figura 5, muestra los porcentajes de remoción de fosfatos hallados, así además su comparación grafica entre los tres medios con A.R. y de igual manera las concentraciones de fosfatos iniciales y finales. De igual manera, como en la evaluación de remoción de nitratos, el medio con A.R. al 50%, fue el que presento mayor porcentaje de remoción entre los demás, obteniéndose un 93,75%, partiendo de una concentración inicial de 1,92 mg L⁻¹ a 0,12 mg L⁻¹ de fosfatos.

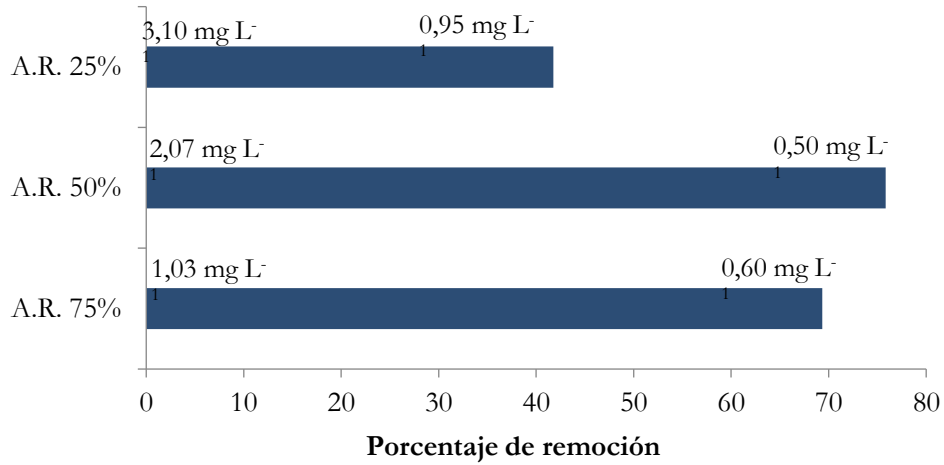


Figura 4: Porcentajes de remoción de nitratos

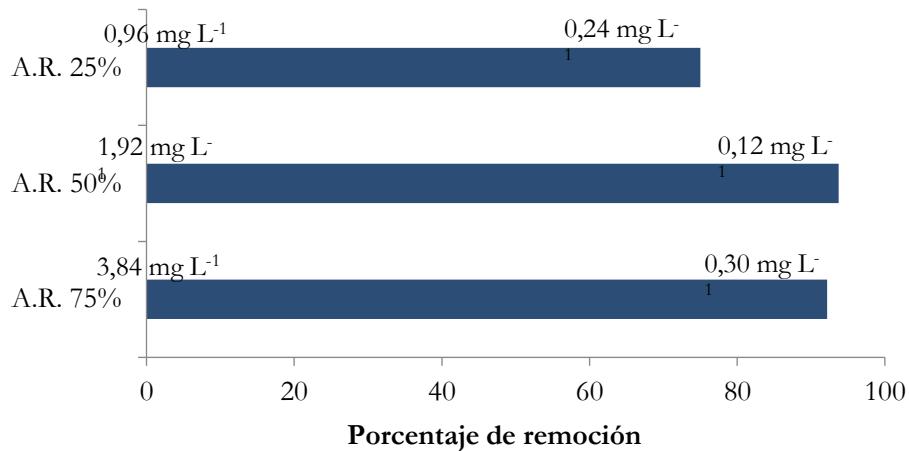


Figura 5: Porcentajes de remoción de fosfatos

El consorcio de algas en estudio estuvo conformado por *Scenedesmus sp.*, *Lyngbya sp.* y *Microcystis sp.*, estos microorganismos durante su crecimiento fueron consumiendo compuestos del agua residual para su desarrollo, entre estos nutrientes se encontraban los nitratos y fosfatos, los porcentajes de remoción de ambos compuestos se muestran en Tabla 2, además de los resultados obtenidos por otros estudios.

Como se evidencia, el porcentaje de remoción de nitratos determinado por otros autores se encuentra entre el 41 y 88%, rango al que pertenecen los porcentajes hallados en la presente investigación, por lo que los datos de remoción de nitratos son aceptables y válidos.

A si mismo los porcentajes reportados por otros estudios acerca de la remoción de fosfatos, abarcan un rango de 30 y 99%, y por lo general es el nutriente que tiene mayores tasas de consumo en comparación con los nitratos; de igual manera los resultados de remoción hallados en la presente investigación son similares a los porcentajes determinados por otros autores.

Tabla 2. Comparación de los porcentajes de remoción de nitratos y fosfatos

Especies de microalgas	Tipo de agua residual	Porcentaje de remoción de nitratos (%)	Porcentaje de remoción de fosfatos (%)	Referencia
Cultivo mixto	A.R. Doméstica	69,355 75,845 41,748	92,188 93,750 75,000	Este estudio
<i>Scenedesmus obliquus</i>	Efluente secundario, doméstica	88,000	85,000	(7) (9)
Cultivos mixtos de cianobacterias	A.R. Doméstica	55,400	30,100	(7) (10)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	A.R. Urbana tratada	80,000	93,100	(7)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	A.R. Urbana tratada	41,123	99,840	(3)
Cultivo mixto de algas	A.R. Municipal	-	>99,000	(8)

4. Conclusiones

Resulta relevante la implementación de nuevas tecnologías para el tratamiento de agua residual, ya que estas representan un gran riesgo para la salud humana y bienestar de los ecosistemas debido a los impactos que generan, ante esta problemática las microalgas surgen como una alternativa muy atractiva para el tratamiento de agua residual, debido a sus ventajas, como su alto potencial depurador, en este sentido con la presente investigación se pudo demostrar el potencial de

remoción de nutrientes por acción del consorcio de algas altiplánicas compuesto por *Scenedesmus sp.*, *Lyngbya sp.* y *Microcystis sp.*, habiéndose obtenido altos porcentajes de remoción tanto de nitratos como de fosfatos, el mejor resultado de remoción hallado fue con el medio con A.R. al 50% de dilución, en el que logro remover un 75,84% de nitratos y un 93,75% de fosfatos.

Referencias Bibliográficas

- [1] APHA, AWWA, WPCF. (1989). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. (17mo ed.). Ediciones Díaz de Santos.
- [2] Awasthi, M., & Singh, K. (2011). Development of algae for the production of bioethanol, biomethane, biohydrogen and biodiesel. 29.
- [3] Berneo, L. E. (2011). *Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugación*. Universidad Católica de Loja, Cádiz.
- [4] Cabrera, M., & Paulla, M. (2014). *LÍNEA BASE PARA EL APROVECHAMIENTO DE MICROALGAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL*. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- [5] Cadima, M., Fernández, E., & López, L. (2005). *Algas de Bolivia con énfasis en el Fitoplancton: Importancia, Ecología y Distribución de Géneros*. Santa Cruz, Bolivia: Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño.
- [6] Camargo, J., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. 16(2).
- [7] Christenson, L., & Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology advances*, 29(6), 686-702.
- [8] Dávila, B. (2016). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa microalgal cultivada en agua residual empleando oxiflotación como método de cosecha*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ingeniería Ambiental, Mexico D. F.
- [9] Delgadillo-Mirquez, L. e. (2016). Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture. *Biotechnology Reports*, 11, 18-26.
- [10] Ji, M., Abou Shanab, R., Hwang, J., & Timmes, T. (2013). Removal of Nitrogen and Phosphorus from Piggery Wastewater Effluent Using the

- Green Microalga *Scenedesmus obliquus*. *J. Environ. Eng.*, Volume 139, pp. 1198-1205. *Journal of Environmental Engineering*, 139(9).
- [11] Komolafe, O., Velasquez, S., Monje, I., & Yáñez, I. (2014). Biodiesel production from indigenous microalgae grown in wastewater. *Bioresource Technology*(154), 207-304.
- [12] Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1996). *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. Food and Agriculture Organization (FAO). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/003/w3732e/w3732e00.htm#Contents>
- [13] Pachés, M., & Martínez, R. (2015). Determinación espectrofotométrica de clorofila: Método tricromático. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10251/53651>
- [14] PARRA, A. L., & VILLANUEVA, R. O. (2012). Bioremediación de aguas con fosfatos y nitratos utilizando *Scenedesmus incrassatulus* inmovilizado. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 71-79.
- [15] Vieira, J. A., & Greque, M. (2014). An Open Pond System for Microalgal Cultivation. In *Biofuels from Algae* (1ra ed., pp. 8-29). Gran Bretaña: Elsevier.
- [16] Yen, H.-W., Hu, I.-C., Chen, C.-Y., & Chang, J.-S. (2014). Design of Photobioreactors for Algal Cultivation. In A. Pandey, D.-J. Lee, Y. Chisti, & C. Soccol (Eds.), *Biofuels from Algae* (pp. 30-52). Gran Bretaña: Elsevier.