

Importancia de las Microalgas

Las microalgas son organismos unicelulares que contienen clorofila, lo que les otorga la capacidad de realizar fotosíntesis, como las plantas; esto les confiere una relevancia en investigación. Las microalgas de manera natural se encuentran en cuerpos de agua en combinación con otros microorganismos como bacterias, cianobacterias, levaduras y otros tipos de microalgas, a esta combinación de especies se le conoce como consorcios.

Los consorcios de microalgas han sido estudiados por varios autores debido a su supervivencia, producción de biomasa y su capacidad para la remoción de nutrientes. Las microalgas se utilizan en diversas áreas de interés comercial y de investigación (Tambat, *et al.*, 2023), debido a su alto potencial biotecnológico y a la generación de productos de alto valor añadido. Cada parte de su composición, como proteínas, carbohidratos, lípidos, pigmentos y biomasa, ha sido estudiada y utilizada (Albarelli, *et al.*, 2018; Wayne-Chew, *et al.*, 2017). Las diversas aplicaciones industriales de las microalgas se encuentran en los campos de la química, la farmacia, la cosmética, la biorremediación, los suplementos dietéticos, la alimentación convencional, los biocombustibles y los fertilizantes (Vázquez-Romero, *et al.*, 2022; Tambat, *et al.*, 2023).

Para reducir los costos de la producción de los cultivos de consorcios de microalgas es necesario utilizar efluentes residuales que aporten nutrientes, los efluentes altamente estudiados son: aguas residuales de la industria textil, láctea, porcina y agua residual domiciliar. Pero la variación en la composición de los efluentes residuales puede limitar o favorecer el crecimiento de algunas microalgas.

Por lo tanto, es esencial seleccionar consorcios con la capacidad de crecer

Producción de Lípidos de un consorcio de Microalgas suplementado con agua residual porcina

Lipid production from a Microalgae consortium supplemented with porcine wastewater

¹Micael Gerardo Bravo Sánchez; ²Omar Surisadai Castillo Baltazar;
³Christian Ariel Cabrera Capetillo.

Contacto: d2203012@itcelaya.edu.mx

¹Tecnológico Nacional de México (TecNM); Instituto Tecnológico de Celaya (ITC), Departamento de Ingeniería Bioquímica e Ingeniería Ambiental; ²Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, Departamento de Ingeniería en Biotecnología; Celaya, Guanajuato, México. ³ TecNM, ITC, Departamento de Posgrado e Investigación (DEPI); Celaya, Guanajuato, México.

Resumen. Las microalgas son microorganismos muy estudiados para la producción de productos de alto valor debido a su alto contenido en proteínas, lípidos, carbohidratos y clorofila. En este trabajo se evalúa de manera técnica y económica la producción de lípidos a partir de un consorcio de *Chlorella sp.*, considerando 18 escenarios para su producción, siendo 9 de ellos parcialmente suplementados con aguas residuales porcinas. Se consideró un área de 1 ha para el cultivo de la biomasa, la recolección de biomasa primaria y secundaria, y la extracción de lípidos. Mediante simulación en el software *SuperPro Designer v10*, se evaluaron parámetros de consumo y producción. Los resultados muestran que el costo de producción es elevado, oscilando entre 836,9 US \$/kg y 1131,5 US \$/kg de lípidos producidos. El uso de aguas residuales reduce el costo de producción en aproximadamente un 10%. La evaluación de los parámetros técnicos y económicos permite aplicar estrategias para reducir los costos de producción.

Palabras Clave: Lípidos, Simulación, Biorrefinería.

Abstract. Microalgae are microorganisms studied for the production of high value products due to their high content of proteins, lipids, carbohydrates and chlorophyll. In this work, the production of lipids from a consortium of *Chlorella sp.* is evaluated technically and economically, considering 18 scenarios for their production, 9 of them partially supplemented with swine wastewater. An area of 1 ha was considered for biomass cultivation, primary and secondary biomass collection, and lipid extraction. Through simulation in *SuperPro Designer v10* software, consumption and production parameters were evaluated. The results show that the production cost is high, ranging from 836.9 US \$/kg to 1131.5 US \$/kg of lipids produced. The use of wastewater reduces the production cost by approximately 10%. The evaluation of technical and economic parameters allows the implementation of strategies to reduce production costs.

Key words: Lipids, Simulation, Biorefinery.

en ciertos efluentes residuales, y que puedan sobrellevar los cambios en las condiciones ambientales, mismas que definirán el éxito del proceso.

Los consorcios de microalgas pueden desarrollarse mejor en efluentes residuales, debido a que, si existe la pérdida de una especie, esta será compensada por otra.

Las especies nativas pueden ser utilizadas sin una aclimatación estacional, de esta manera sería posible optimizar las condiciones de crecimiento y así maximizar la producción de biomasa, a fin de que el escalamiento a nivel industrial sea viable. Se debe tomar en cuenta que, al ser recolectados de un cuerpo natural, el consorcio microalgal está

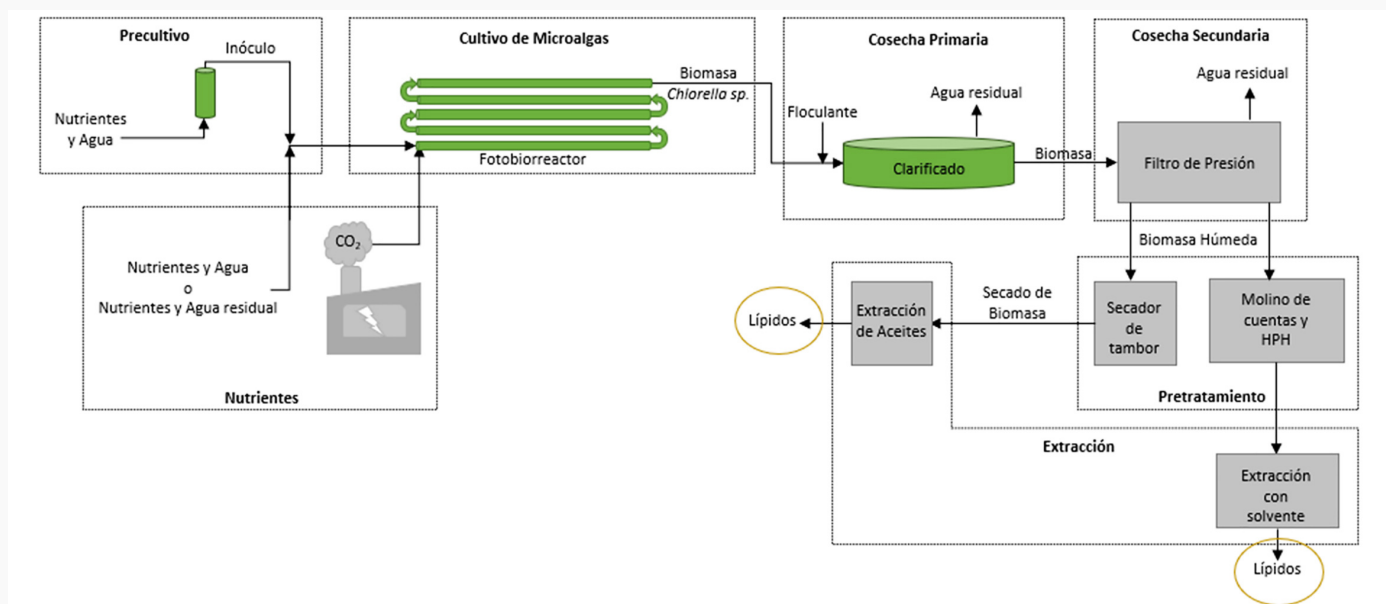


Figura 1. Diagrama de flujo para la simulación de la producción de lípidos a partir de biomasa de microalgas *Chlorella sp.*

Tabla 1. Escenarios para la producción de aceite microalgal.

Cultivo	Escenario	Cosecha	Cosecha Secundaria	Pretratamiento (Ruptura Celular o secado)	Extracción
		Primaria (floculación)			
Agua (B1)	1	NaOH	Filtro Prensa	Molino de Cuentas	Extracción
	2	FeCl ₃			
	3	Quitosano			
Agua Residual (B2)	4	NaOH	Filtro Prensa	Molino de Cuentas	Extracción
	5	FeCl ₃			
	6	Quitosano			
Agua (B1)	7	NaOH	Filtro Prensa	Homogeneizador a alta presión	Extracción
	8	FeCl ₃			
	9	Quitosano			
Agua Residual (B1)	10	NaOH	Filtro Prensa	Homogeneizador a alta presión	Extracción
	11	FeCl ₃			
	12	Quitosano			
Agua (B1)	13	NaOH	Filtro Prensa	Secador de Tambor	Prensa
	14	FeCl ₃			
	15	Quitosano			
Agua Residual (B1)	16	NaOH	Filtro Prensa	Secador de Tambor	Prensa
	17	FeCl ₃			
	18	Quitosano			

acompañado de otros microorganismos endémicos del mismo cuerpo de agua, por lo tanto, es posible que exista una cooperación y/o interacción entre ellas.

Lípidos de Microalgas

Todos los componentes valiosos de las microalgas se han manipulado para desarrollar productos refinados para diversas aplicaciones. Sin embargo, los lípidos han sido los más estudiados para la producción de biodiésel (Kholssi, *et al.*, 2021).

Cuando los lípidos se refinan mediante procesos de transesterificación, pueden convertirse en biocombustibles como biodiesel, bioetanol, glicerol, bio-butanol, entre otros; estos compuestos son altamente utilizados en la industria energética, como energía para el transporte, como lubricantes y como solventes sea el caso (Figueroa-Torres & Theodoropoulos 2023; Wang, *et al.*, 2022).

En la biomasa microalgal, estos lípidos oscilan entre el 2% y hasta el 84% (peso) de la composición, siendo la especie *Chlorella ellipsoidea* la que presenta la mayor concentración

reportada, según lo documentado por Menetrez M. en 2012 y reafirmado por Babi *et al.* en 2022. Los lípidos microalgales se consideran productos de bajo valor ya que su uso común es la conversión en biodiésel, y la producción de biodiésel aún no compite económicamente con el diésel derivado del petróleo.

Esto representa una de las limitaciones significativas para el desarrollo de procesos y tecnologías rentables para la producción de biodiésel derivado de algas (Safi, *et al.*, 2017; Aslam *et al.*, 2020).

La contribución de las microalgas a la bioeconomía verde requiere la producción sostenible de biomasa microalgal, la protección del medio ambiente, la reducción de los residuos de recursos y el uso de tecnologías verdes durante las etapas de procesamiento (Yen, *et al.*, 2012), esto incluye el uso de medios de cultivo suplementados con aguas residuales en las primeras etapas de cultivo para la producción de biomasa microalgal, lo que reduce significativamente los costos de producción de lípidos (Cheirsilp, *et al.* 2023) y otros derivados.

Simulación a Nivel Industrial

La simulación se realizó en el programa *SuperPro Designer*, se utiliza para diseñar, simular, evaluar y optimizar procesos industriales, principalmente en las áreas de bioingeniería, biotecnología, química, ingeniería industrial, farmacobiología y bioenergía. En el presente estudio, se establecieron y evaluaron 18 escenarios de producción de lípidos a partir de biomasa microalgal de *Chlorella sp.* en modo de funcionamiento continuo. Estos escenarios se crearon combinando el precultivo de microalgas, la producción de biomasa en fotobiorreactores tubulares horizontales, la cosecha de biomasa, el pretratamiento de biomasa y la extracción de lípidos, como se muestra en la Figura 1 y Tabla 1.

Los resultados de la simulación muestran que las producciones de lípidos oscilarían entre 13,2 toneladas/ha/año (escenario 13) y 18,3 toneladas/ha/año (escenarios 11 y 12), como se muestra en la Figura 2. En general, se puede observar que los escenarios que incluían aguas residuales tenían una mayor

producción de lípidos (escenarios 4, 5, 6, 10, 11, 12, 16, 17 y 18). Esto se debe a la mayor productividad de biomasa en aquellos escenarios que consideran aguas residuales porcinas.

Existe un gran número de estudios techno-económicos sobre procesos de biorrefinería que utilizan biomasa de microalgas. Sin embargo, esta diversidad ha dado lugar a un amplio abanico de evaluaciones de costos porque no existe una estandarización en los análisis.

Algunos estudios diseñan un proceso basado en valores medios de producción de biomasa o lípidos, mientras que otros omiten el cultivo de la biomasa y todos los procesos necesarios para la recolección y, en su lugar, diseñan su proceso partiendo de la biomasa, entre otras muchas configuraciones de proceso. Además, la gran variedad de especies de microalgas disponibles también contribuye a los requisitos y variaciones específicos del proceso.

Conclusiones

La elección del mejor escenario dependerá del objetivo que se quiera alcanzar. Si el interés principal es conseguir la mayor producción al menor coste, entonces los escenarios 11 y 12 son los mejores para cumplir este objetivo (836,9 US \$/kg).

El uso de aguas residuales permite ahorrar en el consumo de nutrientes y agua dulce, lo que se refleja en el coste unitario de producción, con un ahorro aproximado del 10,33% en todos los escenarios.

Con la ayuda de herramientas de simulación de procesos, pudimos ahorrar tiempo en la evaluación, conocer en profundidad la funcionalidad de cada equipo implicado en cada etapa del proceso, identificar variables críticas para el diseño y poner de relieve el potencial de aplicación de estos procesos a escala industrial.

Referencias

- Albarelli, J. Q.; Santos, D. T.; Ensinas, A. V.; Maréchal, F.; Cocero, M. J.; Meireles, M. A. (2018), Comparison of extraction techniques for product diversification in a supercritical water gasification-based sugarcane-wet microalgae biorefinery: Thermoeconomic and environmental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 201, 697-705. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.137.
- Aslam, A.; Fazal, T.; Zaman, Q.; Shan, A.; Rehman, F.; Iqbal, J.; Rashid, N.; Rehman, M. S. (2020), Chapter 13 - Biorefinery of Microalgae for Nonfuel Products, Editor(s): Abu Yousuf, Microalgae Cultivation for Biofuels Production. *Academic Press*, 197-209. doi: 10.1016/B978-0-12-817536-1.00013-8.
- Babi, F.; Jamal, A.; Huang, Z.; Urynowicz, M.; Ali, M. I. (2022), Advancement and role of abiotic stresses in microalgae biorefinery with a focus on lipid production. *Fuel*, 316, 123192. doi: 10.1016/j.fuel.2022.123192.
- Cheirsilp, B.; Maneechote, W.; Srinuanpan, S.; Angelidaki, I. (2023), Microalgae as tools for bio-circular-green economy: Zero-waste approaches for sustainable production and biorefineries of microalgal biomass. *Bioresource Technology*, 387, 129620. doi: 10.1016/j.biortech.2023.129620.
- Figuerola-Torres, G.M.; Theodoropoulos, C. (2023), Techno-economic analysis of a microalgae-based biorefinery network for biofuels and value-added products. *Bioresource Technology Reports*, doi:10.1016/j.biteb.2023.101524.
- Kholssi, R.; Ramos, P.V.; Marks, E. A. N.; Montero, O.; Rad, C. (2021), 2Biotechnological uses of microalgae: A review on the state of the art and challenges for the circular economy. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 36, 102114. doi:10.1016/j.bcab.2021.102114.
- Menetrez, M. Y. (2012), An overview of algae biofuel production and potential environmental impact. *Environmental science & technology*, 46(13), 7073-7085. doi:10.1021/es300917r.
- Safi, C.; Olivieri, G.; Campos, R. P.; Engelen-Smit, N.; Mulder, W. J.; van den Broek L. A. M.; Sijtsma, L. (2017), Biorefinery of microalgal soluble proteins by sequential processing and membrane filtration. *Bioresource Technology*, 225, 151-158. doi: 10.1016/j.biortech.2016.11.068.
- Tambat, V. S.; Patel, A. K.; Singhanian, R. R.; Vadrale, A. P.; Tiwari, A.; Chen, C. W.; Dong, C. D. (2023), Sustainable mixotrophic microalgae refinery of astaxanthin and lipid from *Chlorella zofingiensis*. *Bioresource Technology*, 387, 129635. doi:10.1016/j.biortech.2023.129635.
- Vázquez-Romero, B.; Perales, J. A.; de Vree, J. H.; Böpple, H.; Steinrücken, P.; Barbosa, M. J.; Kleinegris, D. M. M.; Ruiz, J. (2022), Technoeconomic analysis of microalgae production for aquafeed in Norway. *Algal Research*, 64, 102679. doi:10.1016/j.algal.2022.102679.
- Wang, S.; Mukhambet, Y.; Esakkimuthu, S.; Abomohra, A. E. (2022), Integrated microalgal biorefinery – Routes, energy, eco-nomic and environmental perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 348, 131245. doi:10.1016/j.jclepro.2022.131245.
- Wayne-Chew, K.; Ying-Yap, J.; Loke-Show, P.; Hui-Suan, N.; Ching-Juan, J.; Chuan-Ling, T.; Lee, D. J.; Chang, J. S. (2017), Microalgae biorefinery: high value products perspectives. *Bioresource Technology*. doi:10.1016/j.biortech.2017.01.006.
- Yen, H. W.; Hu, I. C.; Chen, C. Y.; Ho, S. H.; Lee, D. J.; Chang, J. S. (2012), Microalgae-based biorefinery – From biofuels to natural products. *Bioresource Technology*. doi:10.1016/j.biortech.2012.10.099.

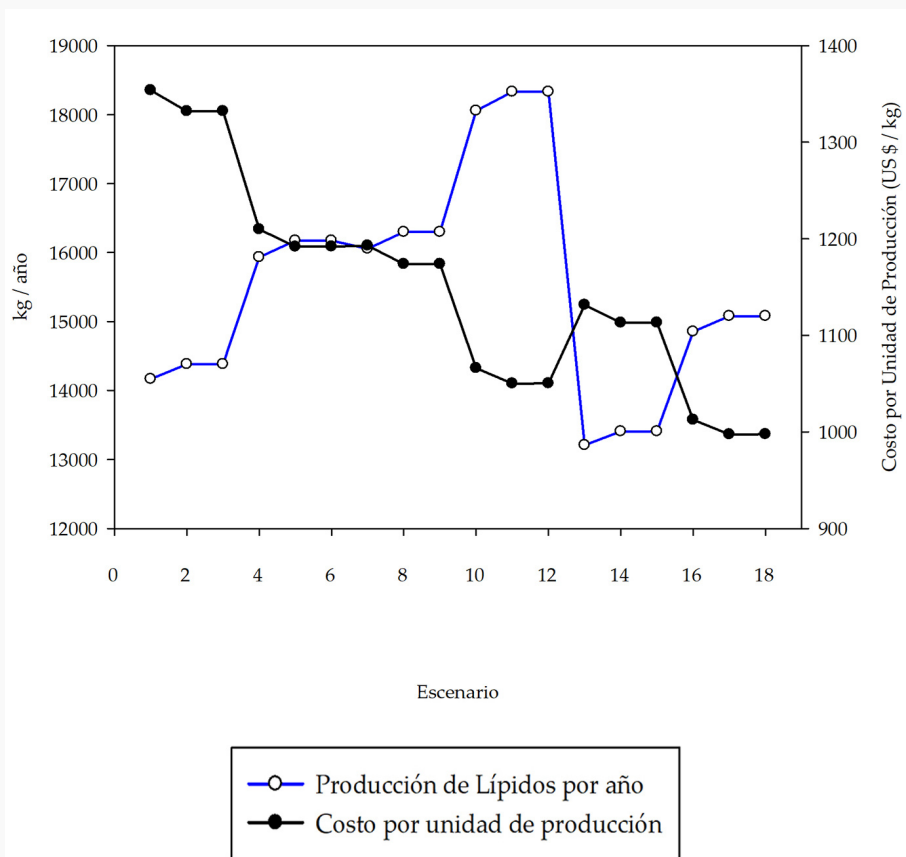


Figura 2. Kilogramos de lípidos producidos y costo anualmente por cada escenario.