



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“PROPIEDADES Y BENEFICIOS DEL USO DE LAS MICROALGAS
PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL”**

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:
Flores Rosales Ana Luisa

Asesor:
Marcos Alejandro Sulca López

Lima – Perú
2020



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°134-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 26 de julio de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Propiedades y beneficios del uso de las microalgas para la producción de biodiesel**, presentado por:

- **Ana Luisa Flores Rosales**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Propiedades y beneficios del uso de las microalgas para la producción de biodiesel** con N° de registro de la carrera: **060-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Marcos Sulca Lopez** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.


Documento firmado digitalmente
Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

Propiedades y beneficios del uso de las microalgas para la producción de biodiesel.

Ana Luisa Flores Rosales¹ y Marcos Sulca López¹

Panamericana Sur Kilómetro 29.5, Villa el Salvador, Lima, Perú,
100022915@ucientifica.edu.pe, msulcal@ucientifica.edu.pe

RESUMEN

En los últimos años se ha buscado reducir el consumo de los combustibles fósiles mediante la utilización de energías renovables. El biodiesel se presentó como una de las opciones para reducir el consumo de energía convencional, puesto que no genera impactos ambientales significativos para el ambiente y tiene una menor huella hídrica. Recientemente, se ha incrementado la investigación en la utilización de microalgas para la producción de biodiesel, no obstante, se deben considerar diversos parámetros para su producción. Adicionalmente, se debe de tomar en cuenta que la producción de este biocombustible puede mejorar la calidad de aire, puesto que puede reducir los gases de efecto invernadero presente en la atmósfera. Por esta razón, el objetivo de esta revisión bibliográfica es conocer las propiedades y beneficios del uso de las microalgas para la producción de biodiesel.

Palabras clave: Parámetros, microalgas, biodiesel, beneficios

ABSTRACT

In recent years, efforts have been made to reduce the consumption of fossil fuels by using renewable energy. Biodiesel is presented as one of the options to reduce conventional energy consumption, since it does not generate significant environmental impacts in environment and has a lower water footprint. Recently, research on the use of microalgae for the production of biodiesel has increased, however, various parameters must be considered for its production. Additionally, it must be taken into account that the production of this biofuel can improve air quality, since it can reduce the greenhouse gases present in the atmosphere. For this reason, the

objective of this bibliographic review is to know the properties and benefits of the use of microalgae for the production of biodiesel.

Keywords: Properties, microalgae, biodiesel, benefits

INTRODUCCIÓN

La extracción de combustibles fósiles se ha incrementado en los últimos años, la Agencia Internacional de energía (AIE) identificó que desde 1971 al 2014 se extrajo más de 9500 MTn de crudo de petróleo, y la demanda de este recurso aumentó a partir del año 2011 (Dermirbas, 2009). No obstante, esta actividad genera varios impactos ambientales, tales como la extenuación de recursos naturales, la limitación de las reservas de petróleo y la generación de gases de efecto invernadero (GEI) que están directamente relacionados con el cambio climático (Fernández y Roca, 2010). Tomando en cuenta el incremento de los GEI, pueden existir otros métodos para generar energía, no obstante, el impacto puede ser similar a la extracción de combustibles fósiles. La búsqueda de la producción de energía renovable se ha ido incrementando en las últimas décadas ya que tienden a ser más amigables con el medio ambiente, ya que las ejecuciones de estas toman en cuenta el impacto ambiental que podría generarse, la naturaleza de la energía, el desarrollo económico y social y la seguridad energética; además tienden a ser más afectivas a largo plazo (Muhammad *et. Al.*, 2019).

Los biocombustibles están definidos como combustibles líquidos o gaseosos con potencial para ser renovables que podrían ser utilizado para la obtención de energía, calor y electricidad (Fernández, Montiel, Millán y Badillo, 2012). Pueden ser de tres tipos: 1) bioetanol, 2) biogás 3) biodiesel que se producen a través de diferentes procesos químicos o físicos. El uso de este tipo de energía ha sido investigado por sus propiedades renovables, limpias y su impacto no significativo al ambiente.

La gasolina puede ser sustituida por el biodiesel ya que es un tipo de combustible renovable, químicamente está compuesto por una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) de cadena larga (C₁₄-C₂₂), que se obtiene por el método de trans-esterificación de ácidos vegetales,

grasas animales, aceites usados o lípidos provenientes de las microalgas (Arias, Roldan, Martínez, y Cañizares, 2012). Este tipo de biocombustible proviene de diversas fuentes biológicas, donde la materia prima es tratada químicamente, obteniéndose como producto el biocombustible líquido o gaseoso (Reen, y otros, 2018). Las microalgas tienen la capacidad de poseer un alto rendimiento de crecimiento para la producción de lípidos, acumulación de ácidos grasos y crecimiento (Castilla y otros, 2017), debido a ello podrían utilizarse para la generación de biodiesel.

Las microalgas son procariotas fotosintéticas que han estudiadas en la última década, esto se debe a su gran potencial para el uso alimenticio, farmacéutico, energético y tratamiento de aguas residuales (Martínez, 2008). Además, tiene un rol de sustentación ambiental debido a dos grandes aspectos: 1) la biorremediación, ya que puede ser usada para contrarrestar la degradación de agua y suelo, 2) la generación de bioenergía (Sheehan, Jiang, y Savage, 2017). Estos microorganismos tienen la capacidad de producir biomasa algal con alto contenido lipídico, el cual puede ser utilizada para la generación de biocombustibles (Guerrero y Castro, 2013). No obstante, se necesita de algunas condiciones fisicoquímicas y de cultivo para su óptimo crecimiento y generación de biodiesel.

En el 2005 el Ministerio de Energía se implementó la “Ley de promoción del mercado de Biocombustibles, N°28054” donde se establece un marco referencial para el desarrollo del mercado, con la finalidad de expandir el mercado de las energías renovables y disminuir los impactos ambientales generados por la energía convencional (MINEM ,2005). En los últimos años se han realizado mucha investigación sobre la producción de biodiesel a partir de microalgas. Es por ello que el presente trabajo busca dar a conocer las características que tiene las microalgas para ser usadas para la producción de biodiesel. Además de informar los beneficios que generarían la producción de este biocombustible.

REVISIÓN TEÓRICA

Para la obtención de la biomasa óptima para la producción de biodiesel, se debe de tomar en cuenta las diversas materias primas que pueden ser utilizadas para la generación de biodiesel. Los

principales sustratos utilizados para la obtención del biocombustible están relacionados al uso de diversos aceites vegetales extraídos de diferentes plantas oleaginosas (Behzadi y Farid, 2007).

En la tabla N°1 están descritos las materias primas usadas para la producción de biodiesel, entre ellas las microalgas. Se puede observar que, en comparación con las otras materias primas, las microalgas tienen un mayor contenido de aceite el cual es fundamental para la generación de biodiesel. Además de tener una producción de 97 800 L de aceite/ Ha por año, mucho mayor en comparación con las otras materias. Otro punto importante es que la huella hídrica es menor, puesto que el agua necesaria para el cultivo puede reutilizarse. Si bien es cierto el costo de producción es alto en comparación a las otras materias primas, los beneficios y el impacto no significativo al ambiente compensan la producción de biodiesel usando microalgas.

Tabla 1.Comparación de materia prima para la generación de biodiesel

<i>Materia prima</i>	Contenido de aceite (% de peso seco de biomasa)	Salida L aceite/ha año	Uso de suelo m ³ /Tn	Huella hídrica m ³ /Tn	Costo de producción	Evaluación acido de aceite	% de rendimiento de biodiesel
<i>Granos de soya</i>	18	636	18	4200	0.40-0.60	0.2	90
<i>Aceite de colza</i>	41	974	12	4300	0.99	2.0	87
<i>Aceite de girasol</i>	40	1070	11	6800	0.62	0.1	90
<i>Aceite de palma</i>	36	5366	2	5000	0.68	6.1	95
<i>Caña de azúcar</i>	48	1307	9	24700	0.92-1.56	4.6	89
<i>Microalgas*</i>	50	97800	0.1	591-3276	3.96-10.56	8.9	80

Fuente: González, Guzman, y Kafarov, 2010

Para obtener el biodiesel se deben de tomar en cuenta tres etapas, estas son: 1) cultivo de la cepa, 2) cosecha de la biomasa y disrupción y 3) la reacción de esterificación para la conversión de biodiesel (Koller y Braunegg, 2012). La primera consiste en la elección de la cepa y el método de cultivo más conveniente para la producción a gran escala en menor tiempo. Posteriormente se realizan las pruebas químicas para determinar el contenido lipídico, considerar el estrés de la

microalga para una mayor acumulación de lípidos, para ello se debe realizar métodos que limiten la presencia de nitrógeno o la incorporación de iones metales (Castillo y colaboradores, 2017). La segunda etapa consiste en la extracción de los lípidos, se debe considerar métodos que empleen solventes, fluidos súper críticos, campo eléctrico de pulso, microondas y ultrasonificación (Neto y entre todos, 2013), para la elección de estos métodos se debe de tomar en cuenta el rendimiento de la especie a utilizar para la producción de biodiesel. En la última etapa se toman en cuenta los métodos utilizados para la transesterificación, que consiste en la transferencia de un grupo acilo, por medio de un grupo éster y un alcohol (Castillo y colaboradores, 2017), existen muchos métodos para la extracción, pero ya dependerá de las características del biodiesel.

Crecimiento de las microalgas

Dentro de las principales características que se debe de considerarse para la producción de biocombustibles es el crecimiento de las microalgas. Estos microorganismos pueden crecer exponencialmente (Guerrero y Castro, 2013), no obstante, son dependientes de algunos factores tales como la temperatura, el pH, etc.

Las microalgas tienen la capacidad de duplicar su biomasa en alrededor de 24 horas (Meng entre todos, 2009), en comparación con los cultivos convencionales en donde los periodos de crecimiento pueden demorar de 3 a 7 meses, en tal sentido, puede demandar más tiempo y existe la probabilidad de pérdida por algunos depredadores. Adicionalmente, los periodos de cosecha de las microalgas pueden ser menores de 10 días dependiendo del proceso o del biorreactor, además de poder realizarse múltiples cosechas al año en comparación a la cosecha convencional que en la mayoría de casos son dos veces al año (Vyas entre todos, 2010).

Parámetros de crecimiento

Para el obtener un mayor crecimiento en las microalgas cultivadas, se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

La Luz es esencial para la fotosíntesis, ya que tiene la finalidad de producir los nutrientes necesarios para la microalga. Tiene un rango de espectro lumínico comprendido entre 400 a 700

nanómetros(n) de longitud de onda (Restrepo, 2011), ya que al someterse a una luz muy elevada podría fotoinhibirse y causaría la fotodestrucción de los pigmentos fotosintéticos (Abalde y colaboradores,1995), esto implica una afectación en la absorción del CO₂ y la acumulación de lípidos, el cual afectaría en la producción de biodiesel.

El pH óptimo para la microalga puede oscilar entre 7 a 8. Este puede verse afectado por la cantidad de CO₂ disuelto y la temperatura, que controla la solubilidad y la actividad metabólica de las microalgas (Abalde y colaboradores,1995), existen especies que pueden ser tolerantes a variaciones de pH, estas son las *scenedesmus* y *chlorella*.

La temperatura puede aumentar hasta alcanzar un valor requerido por cada especie y en relación del sistema de cultivo (cerrado o abierto). Al aumentar este parámetro podría afectar a la Fotorrespiración y por ende reduce la producción, generalmente la temperatura esta entre 28 a 25°C (Hernandez y Labbe, 2012).

El oxígeno disuelto puede influenciar en la tasa fotosintética de las microalgas, el cual podría afectar el contenido de lípidos. De presentarse una saturación superior podría afectar la producciones de las microalgas hasta en un 200% (Park, entre todos, 2011).

En cuanto a los nutrientes los más importantes son el carbono y el nitrógeno. Este último es fundamental ya que regula el contenido lipídico en las microalgas. Ya que cuando este nutriente se convierte en un factor limitante su acumulación de lípidos puede ir de 20% a 50% (Park y colaboradores, 2011). Otro nutriente fundamental es el fosforo, este puede influenciar en el contenido de ácidos nucleicos y la transferencia de electrones, la ausencia de este nutriente podría afectar drásticamente en el crecimiento (Hernández y Labbé, 2012).

Otro parámetro importante es la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), debido a que un alto contenido de estos puede afectar las condiciones de vida del cuerpo de agua (Hernández y Labbe, 2012). La DQO indica la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica y convertirlo en CO₂ y agua y el DBO es la cantidad de oxígeno requieren los microorganismos.

Contenido lípido:

Los lípidos son moléculas biológicas que son solubles en disolventes orgánicos, la cadena de carbonos puede ser del tipo saturado e insaturado y poseer dobles enlaces. En el caso de las microalgas, estas pueden variar su contenido lipídico dependiendo de la especie y la síntesis de diversos ácidos grasos. Esta también puede verse afectada por las condiciones del cultivo o condiciones fisicoquímicas como la temperatura, tiempo de iluminación, intensidad de la luz y la tasa de aireación (Hallin., Danquen y Webley, 2012).

Un alto contenido lipídico está relacionado con la síntesis de triacilgliceroles (TAG), estos son lípidos con alto contenido de ácidos grasos y ausencia del grupo fosfato, la baja sensibilidad de oxidación permite la producción de biodiesel. En las microalgas, esto puede controlarse debido a los parámetros de las condiciones del cultivo, como por ejemplo la limitación de nutrientes que contengan nitrógeno, esto triplica el contenido lipídico durante un rango de cuatro a nueve días de ausencia del nutriente (Fernández, Montiel, Millán y Badillo, 2012).

El cultivo de microalgas bajo óptimas condiciones de crecimiento tiene una acumulación de lípidos que oscila entre 20 a 50% del peso seco, no obstante, cuando presenta estrés por la variación de algunos parámetros, esto permite el aumento de la producción lipídica, además de tener la capacidad de adaptarse a ambientes extremos, cambios de pH, variación de salinidad y temperatura (Brennan y Owende, 2010).

De acuerdo al instituto de Investigación de Energía Solar de Madrid, las algas que contienen una alta concentración de ácidos grasos están relacionadas a las especies *Nannochloropsis salina* y *Dunaliella salina*, estas son fáciles de cultivar para la producción de biodiesel. No obstante, el mismo estudio menciona que todos los lípidos no son químicamente compatibles para la producción de biocombustibles, como, por ejemplo, los lípidos que genera la especie *Botryococcus braunii* tienen una alta masa molecular que impide el inicio de la segunda etapa para la producción de biodiesel. (Arias y Cañizares, 2013).

Géneros microalgales usados en la generación de biodiesel

Se reportó varios géneros de microalgas para la producción de biodiesel, no obstante, los más comerciales han sido la *Chlorella* y *Scenedesmus*, por las siguientes características:

La *Chlorella*, es un género algal que ha resultado ser tolerante a las variaciones fisicoquímica del agua usada para desarrollar su cultivo, adicionalmente, tiene propiedades fitorremediadoras para mejorar la calidad del agua, por ejemplo, en un estudio realizado en una empresa de textiles se observó una disminución del 97.2% del colorante presente en aguas residuales (Vacca, Ángulo, Puentes y Torres, 2016). Así mismo, otros autores indican que la *Chlorella* tiene un alto crecimiento celular y resiste altas concentraciones de materia orgánica (Mara y Horan , 2003). Además de acumular carbohidratos que oscila del 18 a 51% aproximadamente, este porcentaje es considerado alto en comparación de otras especies de algas que permiten la síntesis de lípidos. Además de tener una gran resistencia al estrés, puesto que la falta de nitrógeno aumenta el contenido de lípidos de 5 al 41% del peso seco de las células (Huang, Hasunuma y Chang,2013).

Las microalgas que componen el género *Scenedesmus* pueden encontrarse en masas de agua natural y residual, pueden remover hasta el 67.4% de nutrientes nitratos y fosfatos presentes en aguas residuales, el cual puede beneficiar al cuerpo de agua mejorando la calidad fisicoquímica de esta (Hernández A. y Labbé J.,2014). Poseen un alto contenido de carbohidratos el cual influye de 20 a 21% en la producción de lípidos (Gong y Jiang, 2011). La ventaja de este género de microalga es que puede tolerar condiciones extremas de pH y temperatura.

La *spirulina* ha sido recientemente estudiada para la producción de biodiesel., una de las ventajas que tiene este microorganismo es la capacidad producirse en condiciones de salinidad y estrés. Además, tiene una buena reacción en cuanto al método de transesterificación, es decir tiene una reacción rápida porque cataliza las reacciones químicas de manera acelerada. (Rahman, Al-khulai, Sakib y Islamc, 2017). Al ser resistente a la salinidad y al estrés, no requiere de un tratamiento previo, reduciendo o eliminando el costo del tratamiento del agua de cultivo.

Sistema de cultivo

Existen dos tipos de sistemas cultivos: 1) el sistema abierto y 2) el sistema cerrado que (Hernández y Labbe,2014) que han sido los más estudiados en los últimos años.

El medio de cultivo abierto consiste en tanques con sistemas continuos, pueden realizarse al aire libre mediante piscinas descubiertas, al cual se suministran nutrientes dependiendo del método de cultivo. Este sistema de cultivo presenta las siguientes ventajas, como por ejemplo permite el crecimiento acelerado de las células, hay un mayor control de la temperatura, reducción de la pérdida del agua y el bajo costo del tratamiento. Este sistema tiene como desventaja el difícil control de diversos parámetros fisicoquímicos. Por otro lado, hay métodos que permiten usar tanques circulares con o sin agitación, el material puede variar dependiendo de la escala de cultivo (Restropo,2011).

En el caso de los sistemas cerrados, se pueden controlar los parámetros como el pH, los nutrientes, etc. de manera automatizada y pueden generar menor contaminación. No obstante, no se puede utilizar a gran escala y los costos de producción son mayores, ya que requieren de un mayor consumo energético. Además, requieren estar aislados en invernaderos porque requieren de una temperatura elevada (Restropo,2011).

BENEFICIOS DE PRODUCIR BIODIESEL CON MICROALGAS

Reducción de Gases de efecto Invernadero (GEI)

Los GEI han generado un aumento en la temperatura ambiental provocando el aumento de agua en los océanos por el deshielo de los nevados, también ha afectado a las actividades forestales, en la agricultura y sobre todo la flora y fauna del Ártico (Loera y Olgúin, 2010). Uno de estos gases es el CO₂, cuya concentración en la atmonesta fue aumentando en los últimos tiempos. En un estudio realizado por Stager en el 2012, se observó que para el año 2300 el CO₂ presente en la atmósfera alcanzará un máximo de 1 900 a 2 000 ppm, siendo este perjudicial para la salud de algunos seres vivos.

El cultivo masivo de microalgas puede aportar en la reducción de los GEIs presentes en la atmósfera. Los resultados obtenidos en un estudio, empleando microalgas, realizado en el 2013 en la universidad de EAFIT (Medellín, Colombia) demostraron que 75% del oxígeno que respiramos provienen de las microalgas. Esto se debe a que las microalgas usan el CO₂ residual proveniente de las actividades antropogénicas, sin necesidad de un tratamiento previo ya que pueden resistir altas concentraciones de CO₂ (Martínez, 2008).

Las microalgas son consideradas la solución más comprometedor para la captura de CO₂ atmosférico, puesto que convierte el carbono inorgánico en compuestos orgánicos como los lípidos (CORDIS, 2013) con potencial para producir biodiesel. Se han descrito más de 4000 especies de microalgas a nivel mundial, que tienen estas capacidades de absorción y que se encuentran aislados en diversos ambientes como agua dulce y agua salada.

Para la fotosíntesis, las microalgas utilizan a la luz como fuente de energía y al CO₂ como fuente de carbono. Este proceso se divide en dos etapas: 1) La primera es dependiente de luz, en donde la luz es absorbida por las membranas de los tilacoides, posteriormente es utilizada para reducir una molécula de NADP⁺ y fosforilar una molécula de ADP. 2) En la etapa independiente de luz se fija el CO₂ en el ciclo de Calvin mediante la enzima Rubisco para posteriormente formar carbono. En algas eucariotas esto se fijan en los estromas de los cloroplastos (Heinrich, 2016).

La utilización de CO₂ en microalgas debe ser controlada mediante el pH, puesto que puede generar cambios en el proceso, como por ejemplo la reducción de la tasa fotosintética. En un estudio realizado con la especie de microalga *Monoruphidium minutum*, demostraron que al suministrar CO₂, sulfuros y óxidos de nitrógeno eran capaces de crecer eficientemente produciendo buenos rendimientos de biomasa.

Mejora la calidad fisicoquímica del agua.

Las microalgas son consideradas esenciales en el tratamiento del agua, ya que se ha evidenciado que pueden ser eficientes en la reducción de la DQO y DBO. En un estudio realizado en el 2008, se observó que la microalga del género *Scenedesmus* puede disminuir hasta 67.4% de la DBO en

aguas residuales provenientes de una empresa productora de aceite de oliva (Hernandez y Ladde, 2012). Mientras que otros autores reportan la disminución de la DBO hasta 91.4% (León y Chavez, 2010). Las microalgas pueden remover el exceso de sales que contengan nitratos y fosfatos en aguas residuales. Este factor es importante ya que se podría cultivar las microalgas en aguas residuales y poder reducir los costos de producción. Esto indica el gran potencial que tienen las microalgas para mejorar la calidad fisicoquímica del agua.

Las altas cargas de materia orgánica en los cuerpos de agua pueden afectar a la flora y fauna acuática. Una especie importante para la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales es el género *Desmodesmus*, que puede remover 1.323 mg de materia orgánica por cada litro de agua residual, además de tener una acumulación lipídica de 261.8 mg de peso seco (Ji y colaboradores, 2015). La importancia de la acumulación lipídica indica el potencial que podría tener esta microalga para la producción de biodiesel y subproductos como el biochar y biol.

Las microalgas contienen diversos tipos de lípidos y ácidos grasos, que es la materia prima usada para la generación de biodiesel. Actualmente, hay diversas opiniones sobre los costos que involucran la producción de biodiesel, ya que la demanda económica requerida para su producción puede variar en función de la metodología utilizada. Uno de ellos es la transesterificación resulta ser el método más económico, pero tiene mayor demanda de energía. No obstante, una de las estrategias que puede reducir los costos es la instalación de diversos sistemas de cultivo multipropósitos, en donde se logrará aumentar la biomasa algal (Castillo y colaboradores, 2017).

CONCLUSIONES

La producción de biodiesel por parte de las microalgas es muy beneficioso para el medio ambiente, ya que estos absorben y metabolizan la materia orgánica presente en el agua, mejorando la calidad fisicoquímica de esta. Además, pueden llegar a reducir los GEI presentes en la atmósfera, ya que requieren del CO₂ como nutriente inorgánico para la síntesis química de compuestos biológicos a través de la fotosíntesis. No obstante, se debe tomar en cuenta: 1) la

elección de la especie a utilizar, 2) la velocidad del crecimiento, 3) parámetros fisicoquímicos para el cultivo, 4) contenido lipídico de la especie y 5) tipo de sistema de cultivo. Si bien es cierto que los costos de producción podrían variar dependiendo de la escala y las características ya mencionadas, se deberá considerar también los beneficios ambientales que se generarían a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, M., Cañizares, R., y Martinez, A., (2013). Producción de biodiesel a partir de microalgas: parámetros de cultivo que afectan la producción de lípidos. *Bdigital*, 18(1), 43-68. <https://bit.ly/2C6KMGo>

Behzadi, S., y Farid, M. (2010). Examining the use of different feedstock for the production of biodiesel *Asia- Pacific Journal of chemical Engineering*,2(5), 480-486. doi: 10.1002/apj.85

Brennan, L., y Owende, P.(2010). Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products, *Renew Sust.Energy* 14(2),557-577. Doi: 10.1016/j.rser.2009.10.009

Castillo, O.,Torres, S., Nuñez, C., Peña, V., Herrera, C.,y Rodriguez, J.(2017). Producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas. *Hidrobiología* 27(3), 337-352

CORDIS. (2013). *Algas para capturar CO2*. Comisión Europea.

Dermirbas, M. (2011). Biofuels from algae for sustainable development.*Applied Energy*, 88(10), 3473-3480. doi: /10.1016/j.apenergy.2011.01.059

Fernandez, L., Montiel, J., Millán, A., y Badillo, J. (2012). Producción de biocombustibles a partir de microalgas.*Ra Ximhai*, 8(3b),101-115. <https://bit.ly/2VZ4I58>

Gonçalves, A., Pires, M., y Simões, M. (2017). A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. *Algal Research*, 24, 403–415. doi: 10.1016/j.algal.2016.11.008

Gonzales, A. ,y Kafarov, V. (2007). Comparison of microalgae oil extraction methods for third generation biofuel production. Papel presentado en 19th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2010 and 7th European Congress of Chemical Engineering, ECCE-7, Prague.

Hallin, R., P. Danquah, M., y Weblry, P. (2012). Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: a review, *Biotechnol. . Webley* 30(3),709-732. doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.01.001

Huang, S., Chen, Y., Hasunuma, T., Condo, A., y Chand, J.(2013). Bioethanol Production Using Carbohydrate-Rich Microalgae Biomass as Feedstock. *Bioresour Technol*, 135(1), 191-198. Doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.015

Huntly, M., y Redalje, D. (2007). Oil extraction from microalgae for biodiesel production. *Bioresour. Technol*, 12(4), 573-608. doi: 10.1016/j.algal.2014.10.008

Ji, F., Zhou, Y., Pang, A., Ning, L., Rodgers, K., Liu, Y., y Dong, R. (2015). Fed-batch cultivation of *Desmodesmus* sp. in anaerobic digestion wastewater for improved nutrient removal and biodiesel production. *Bioresource Technology*, 184, 116–122. doi:10.1016/j.biortech.2014.09.144

Koller, M., y Braunegg, G.(2012).Characteristics and potential of micro algal cultivation strategies: a review. *Journal of Cleaner Production*,37(1),377-388. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.07.044.

Lozada, A , Peña, Y., Almaguer,G. , Mancebo, R., Sartorio, I. (2015).). Características del muestreo microbiológico realizado a aguas residuales en Puerto Padre. *Revista Electrónica Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta*,40(2). <https://bit.ly/31MiDz9>

Mara, D., y Horan, N.(2003). *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*. Academic Press.Estados Unidos. Elsevier.

Marcos, M., Almazan, J., y Palomino, C., (2008). Biodiesel de algas. *Energética*, 21(24), 100-101. Doi: [oa.upm.es/2926/](https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.014)

Martínez, L. (2008). Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas (tesis para optar grado de Doctor). Universidad de León, España.

Meng, X., Yang, J. Xu X., Zhang, L., Nie, Q., Xian, M. (2009). Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renew Energy*, 34(1), 1-5. Doi: [10.1016/j.renene.2008.04.014](https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.014).

Park, J., R. Craggs, y A., Shilton. (2011). Recycling algae to improve species control and harvest efficiency from a high rate algal pond. *Water Res*, 45(20), 6637-6649. Doi: [10.1016/j.watres.2011.09.042](https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.042)

Pereira, A. , Sotana, R. , León-Nino, A., Aparecida, J. ,Sbrolini, R.,Nunes, T. ,Sellare, T., Takashi, F., Prado , F., y Flores , S. (2013). Improvement in microalgae lipid extraction using a sonication-assisted method. *Renewable Energy*, 55,525-531. Doi: [10.1016/j.renene.2013.01.019](https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.019)

Rahman, A., Aziz, M. ,Al-khulai, R., Sakib, N., y Islamc, M. (2017). Biodiesel production from microalgae *Spirulina maxima* by two step process: Optimization of process variable. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(2), 140-147. Doi: [10.1016/j.jrras.2017.02.004](https://doi.org/10.1016/j.jrras.2017.02.004)

Reen, S., Chyuan , H., Wayne, K., Loke, P., Phang, S.-M., Chuan, T., y Chang, J. (2018). Sustainable approaches for algae utilisation in bioenergy production. *Renewable Energy*, 129,838-852. doi: [10.1016/j.renene.2017.04.001](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.001).

retos y oportunidades. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 1(1). 91-116. <https://bit.ly/2YXVuYI>

Richmond, R (2004). *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Estados Unidos, Blackwell Science Ltd.

- Sáez, A. (2013). Microalgas para reducir la emisión de CO₂. Revista Universidad EAFIT.
<https://bit.ly/3eTOTUy>
- Salaet, S., y Roca, J. (2010). Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: algunos posibles escenarios futuros de emisiones. *Revista Galega de Economía*, 19(1), 1-19.
- Salazar L. (2012). *Evaluación de métodos de extracción de aceite de microalgas para producción de biodiesel* (tesis para optar grado de Ingeniero Industrial y sistemas). Universidad de Piura.
- Sheehan, J. D., Jiang, J., y Savage, P. (2017). Algae and Environmental Sustainability. Johnson Matthey *Technology Review*, 61(2), 133–137. doi: [10.1595/205651317X695109](https://doi.org/10.1595/205651317X695109)
- Stager, C. (2012). *El futuro profundo: Los próximos 100.000 años de vida en la Tierra*. Barcelona. Editorial Crítica.
- Vacca, V., Angulo, E., Puentes, D. y Torres, J. (2016). Uso de la microalga *Chlorella* sp. Viva en suspensión en la decoloración del agua residual de una empresa textil. *Prospect*, 15(1), 93-99.
Doi: 10.15665/rp.v15i1.829
- Vyas A., Verma, J., Subrahmanyam, N., (2010). A review on FAME production processes. *Fuel*, 89(1), 1-9. Doi: 10.1016/j.fuel.2009.08.014.