



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Bahía Blanca

Especialización en Ingeniería Ambiental

Trabajo Final Integrador

La factibilidad del Biodiesel a base de algas

Autora

Ing. María Cecilia Monserrat

Directora

Mg. Aloma Sartor

Bahía Blanca, 22 de marzo de 2023

Contenido

Resumen.....	2
Planteamiento del problema.....	2
Objetivos	3
Justificación	4
Hipótesis	4
Variables	4
Marco teórico.....	6
El biodiesel.....	6
Materia prima.....	8
Soja	8
Girasol.....	8
Colza	8
Algas	8
Algas en la Patagonia argentina.....	10
Biodiesel a base de algas.....	10
Características	11
Cultivo de las algas	12
Proceso de elaboración del Biodiesel.....	13
Rendimiento.....	14
Costo	14
Comercialización en la Argentina.....	15
Informe final	17
Bibliografía.....	18

Resumen

El petróleo es, en la actualidad, uno de los combustibles más utilizados y demandados por el hombre debido a su alto nivel de explotación comercial y su escasez. En los últimos años, las sociedades han buscado modos de sustitución para este recurso no renovable y, luego de investigaciones, ensayos y pruebas, se puede establecer el biodiesel como un gasóleo renovable derivado de aceites de oleaginosas. Múltiples empresas de producción de biocombustibles del ámbito nacional e internacional se han interesado por conocer las algas como recurso energético de futuro para biodiesel.

Las algas componen una fuente renovable para reemplazar en gran medida al gasoil fósil. Existen varias especies de algas, pero resultan más adecuadas para la producción de Biodiesel aquellas de alto tenor de grasa.

Argentina es un verdadero precursor en la producción de biodiesel de algas comercialmente, concretando ese estatus a través de Oil Fox. En el presente trabajo se analiza la factibilidad del biodiesel a base de algas en Argentina.

Planteamiento del problema

“Factibilidad del Biodiesel a base de algas”

Para satisfacer sus necesidades, el ser humano debe recurrir a elementos de la naturaleza que le son útiles. El petróleo es, en la actualidad, uno de los más utilizados y demandados por el hombre debido a su alto nivel de explotación comercial y su escasez. Las sociedades han buscado modos de sustitución para este recurso no renovable y, luego de investigaciones, ensayos y pruebas, se puede establecer el biodiesel como un gasóleo renovable derivado de aceites de oleaginosas (como el girasol, maní, lino, arroz, algodón y otros) que pueden utilizarse en motores biodiesel de todo tipo.

La información disponible indica que la obtención de combustibles bajo la estrategia de monocultivos a gran escala, como parte de cadenas agroindustriales, es insustentable desde el punto de vista ambiental y social, mientras que es dudosa su sustentabilidad económica.

Las algas son fuente de muchos productos útiles (alimentos, fármacos, pinturas, etc.) ya sea por sus polisacáridos, o como una de las mejores fuentes de potasa¹ para

¹ Potasa: compuesto químico inorgánico de fórmula KOH, también llamado como hidróxido de Potasio.

jabones y el yodo que tiene la sal. Como fuente de pigmentos, como forraje, fertilizante o como alimento en muchas partes del mundo. Es así que múltiples empresas de producción de biocombustibles del ámbito nacional e internacional se han interesado por conocer las algas como recurso energético de futuro para biodiesel.

Los cultivos acuáticos constituyen una fuente potencial de biomasa y su empleo actual es escaso considerando que la mitad de la biomasa del planeta se promueve en océanos donde se haya algas unicelulares aptas para la producción de Biodiesel. Generalmente este se elabora a partir de aceite de soja, pero este trabajo de investigación intentará comprobar que el aceite de algas es absolutamente compatible para la fabricación de este gasóleo.

Las algas componen una fuente renovable para reemplazar en gran medida al gasoil fósil. Existen varias especies de algas, pero resultan más adecuadas para la producción de Biodiesel aquellas de alto tenor graso.

Un aspecto trascendental para la producción sostenible de algas con alto contenido en grasas consiste en la selección de las especies y/o variables apropiadas para cada caso particular. Es factible cultivar algas con aguas muy disímiles: dulces, saladas, limpias o residuales. Los desafíos son importantes teniendo en cuenta los factores que inciden, tales como la variación de temperatura del agua y su fluctuación durante el periodo de cultivo. La adecuación a cada ambiente demanda un gran esfuerzo de investigación, donde seguramente la biotecnología tiene asignado un rol cardinal.

Para alcanzar un mejor manejo de la actividad, equipos interdisciplinarios conformados por técnicos en áreas específicas de ecología marina, hidráulica, electrónica, etc., han desarrollado distintas metodologías, principalmente para sistemas intensivos, para producir micro algas.

Argentina es un verdadero precursor en la producción de biodiesel de algas comercialmente, concretando ese estatus a través de Oil Fox, una empresa nacional pionera en la elaboración de biocombustibles desde 1992 (ubicada en Chubut), que cuenta con una zona óptima para la explotación de algas con ese fin.

Desde 2006, el país cuenta con una ley que fomenta la protección de biocombustibles y que abre las puertas a nuevas inversiones en el sector. A partir de 2010, una nueva ley obliga a mezclar los combustibles tradicionales con cierto porcentaje de componentes renovables.

Objetivos

- Analizar las algas como recurso renovable apto para la producción de Biodiesel.
- Identificar los beneficios y perjuicios del Biodiesel a base de algas.
- Explicar el sistema de producción de las algas para elaboración de Biodiesel.
- Analizar la presencia de Biodiesel a base de algas en la Argentina.

Justificación

“*La factibilidad del biodiesel a base de algas*” constituye una alternativa para la sustitución del petróleo, recurso no renovable muy demandado por la sociedad y en escasez. Además, es una posibilidad para reemplazar el biodiesel elaborado a base de oleaginosas, materia prima extraída de recursos necesarios para la alimentación. Si bien las algas son consideradas como alimento en algunas partes del mundo, su presencia en la naturaleza es más abundante y su crecimiento es más rápido si se lo compara con las oleaginosas, por lo que garantiza materia prima constantemente.

Hipótesis

La existencia de algas en la Patagonia argentina es una condición que favorece la elaboración de biodiesel.

Variables

La existencia de algas en la Patagonia argentina posibilita el alcance de una gran cantidad de materia prima apta para la elaboración de biodiesel. Las mismas tienen mayor rendimiento por unidad de masa o de volumen si se lo compara con el petróleo.

La implementación de las algas involucra a la diversificación productiva y la sustentabilidad ambiental.

En el mar argentino, existen varias especies de algas, pero resultan más adecuadas para la elaboración de Biodiesel aquellas con alto tenor graso.

La reducida contaminación ambiental en la elaboración de biodiesel derivado de algas se debe a que no contiene sulfuros, azufre, sulfatos ni dióxido de Carbono, tampoco es tóxico y resulta altamente biodegradable.

Generalmente el biodiesel se elabora a través de aceites de soja, pero dedicar la tierra a generar combustibles es ineficiente bajo las tecnologías actuales, y es más útil aprovecharla para obtener alimentos para los seres vivos. Es así que son muchas las empresas de producción de biocombustibles del ámbito nacional e internacional que se interesan por conocer mejor las algas como recurso energético para la elaboración de biodiesel.

Marco teórico

El cambio climático es uno de los grandes desafíos del siglo XXI ya que sus impactos globales y severos afectan la estabilidad económica, social y ambiental del planeta (Loera-Quezada y Olguín, 2010), motivo por el que, en los últimos años, han incrementado las políticas ambientales que favorecen el desarrollo de biocombustibles como una alternativa al uso de combustibles fósiles.

Según IPEC (2015), la expansión de la producción y uso de biocombustibles en el mundo obedece a factores de oferta y demanda. Desde los años '70, la gradual intervención del Estado para promocionar su producción y consumo ha desatado reformas regulatorias tendientes a favorecer la producción de combustibles no fósiles, principalmente en Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá, la Unión Europea, China, India, Malasia, Indonesia y Tailandia.

Argentina denota importantes ventajas en la producción de materia prima con potencial para la producción de biodiesel, ya que cuenta con una gran diversidad de recursos naturales, condiciones agroecológicas propias para el cultivo de especies con fines energéticos y un sector agrícola altamente dinámico y competitivo, destacándose su complejo oleaginoso entre los más eficientes del mundo (IICA, 2010).

El biodiesel

El biodiesel se define como un metil éster obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales, de características similares al diésel (Tejada y colaboradores, 2013), que se utiliza para sustituir total o parcialmente combustibles fósiles convencionales (como el petróleo, gas natural, carbón, etc.) (IPEC, 2015).

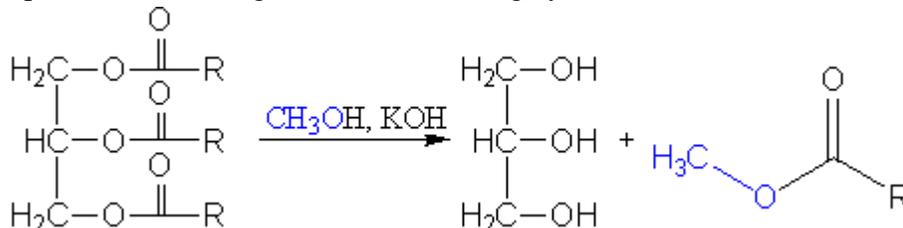
Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency - EPA - EEUU) y puede utilizarse como combustible puro al 100 % (B100), como base de mezcla para el gasoil de petróleo (B20), o en una proporción baja como aditivo del 1 al 5 % (Oil Fox, 2022).

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), define (IICA, 2010):

- *Biodiesel*: combustible compuesto de esteres mono-alcalinos de ácidos grasos de cadenas largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales denominado B100 y que cumplen los requerimientos de la ASTM D 6751.
- *Biodiesel mezcla*: mezcla de biodiesel con el diésel derivado del petróleo y denominado BXX, donde XX representa el porcentaje del volumen de biodiesel

en la mezcla. Por ejemplo: B20 significa una mezcla con 20% de biodiesel y 80% de diésel derivado del petróleo.

Químicamente, el Biodiesel se describe como compuestos orgánicos de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga y corta.



Las propiedades del biodiesel varían de acuerdo a la materia prima y entre las más sobresalientes y atractivas están su biodegradabilidad y no toxicidad (Loera-Quezada y Olgúin, 2010).

En general, tiene un poder calórico inferior (PCI) menor que el diésel (7,795 kcal/L), su viscosidad es de 1,9-6,0 cSt, su densidad es de aproximadamente 0,878 kg/L (a 15°C) y su flash point llega a superar los 130°C (Tejada Tovar y colaboradores, 2013), lo que lo hace más seguro su almacenamiento y transporte (IPEC, 2015).

No contiene azufre, agente que se encuentra en el diésel por su poder de lubricación⁴ (Vértiz Díaz, 2009), y su combustión no produce emisiones de dióxido de azufre, gas altamente contaminante de la atmósfera (IPEC, 2015). Al tratarse de un combustible biodegradable, su uso disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y óxidos de azufre (IICA, 2010).

En 2006, se sancionó en Argentina la Ley n° 26.093 sobre biocombustibles, la cual estableció la incorporación de biocombustibles en una proporción o “corte obligatorio” no inferior a 5% en los combustibles fósiles a partir del año 2010 (IPEC, 2015). Desde entonces, el país se posicionó rápidamente en un lugar de privilegio.

De acuerdo al MAGyP (2022), Argentina produjo en 2018 una cantidad total de 2,5 millones tn/año de biodiesel, del cual un 45% (1,1 millones tn/año) correspondieron a Mercado Interno, mientras que el 55% restante (1,4 millones tn/año) se destinó a Mercado Internacional. El país cuenta con 36 plantas de producción con una capacidad instalada de 4,5 millones tn/año (2018) que trabajan principalmente con soja como materia prima.

⁴ *Lubricación*: proceso mediante el cual se intercala un fluido en forma de película delgada, entre las piezas metálicas que están en contacto y en movimiento.

Materia prima

Los biocombustibles pueden obtenerse a partir de diversos productos agropecuarios que van desde las plantas herbáceas y leñosas hasta varios tipos de residuos agrícolas y ganaderos (aceites vegetales y grasas animales) (OIT, 2019), siendo los más adecuados aquellos que poseen un alto tenor graso. Habitualmente, los más utilizados son:

Soja

Entre las materias primas de disponibilidad inmediata, se destaca la soja. El complejo oleaginoso argentino se encuentra entre los más eficientes del mundo debido a los bajos costos relativos de producción de oleaginosas en Argentina, la ubicación privilegiada de la industria aceitera en relación a los puertos y núcleos de producción y el alto desarrollo tecnológico (IICA, 2010).

Según el MAGyP (2022), en la Argentina el biodiesel es producido exclusivamente a partir del cultivo de soja (*Glycine max*) como materia prima, principalmente el aceite.

La soja tiene una capacidad de conversión a biodiesel de 183 L/tn (IICA, 2010).

Girasol

El girasol es la segunda oleaginosa de importancia en Argentina, país que ocupa el tercer lugar en producción mundial de semilla de girasol. Este tiene una capacidad de conversión a biodiesel de 418 L/tn (IICA, 2010).

Colza

Por su alto contenido de aceite por grano (40-44%) se utiliza la colza como oleaginosa para la obtención de aceite. Los rendimientos son buenos, superándose los 3.000 kg/ha en muchas ocasiones. Este tiene una capacidad de conversión a biodiesel de 392 L/tn (IICA, 2010).

Algas

Las algas son un grupo de organismos acuáticos con metabolismo autótrofo que presentan como pigmento fotosintético la clorofila (Dreckmann y colaboradores, 2013). Poseen una gran variedad de formas, tamaño, estructura celular, metabolismo, composición química, ciclos de vida y hábitats (Ruíz Morales, 2013). Su vida se desarrolla ligada al agua dulce o salada y no desarrollan flores ni cuentan con sistema vascular desarrollado (Boraso y colaboradores, 2004).

Son fuente de muchos productos útiles que forman parte de la vida cotidiana como alimentos, fármacos, pinturas, ropas y otros. Un gran número de algas marinas son utilizadas para la alimentación por varios países del sudoeste asiático en los que se conserva este hábito debido al nivel nutritivo, las propiedades curativas y a ser una importante fuente de proteínas vegetales aportando todos los aminoácidos esenciales, no contener grasas saturadas (no produce colesterol), ni residuos de antibióticos, pesticidas ni hormonas de síntesis típicas de las carnes.

Las algas son las verduras con mayor contenido de sales minerales y oligoelementos⁵, tanto que una cucharada de algas ofrece al organismo todos los necesarios para mantener el correcto metabolismo celular. Su contenido en hierro es mucho más alto que el de las lentejas y son ricas en yodo (I), cobalto (Co), magnesio (Mg), calcio (Ca) (aporta más que la leche), fósforo (P) y potasio (K). Además, las algas contienen una buena cantidad de vitamina E, provitamina A o betacarotenos y ácidos linoléicos y alfa linoléicos que actúan contra el envejecimiento, protegen la piel y las mucosas de los radicales libres. Sin embargo, no se aconseja un consumo elevado ya que son ricas en ácidos nucleídos que puede favorecer al aumento de la uricemia (ácido úrico).

Las algas pertenecen al primer eslabón de la cadena trófica en ambientes acuáticos, siendo productores primarios capaces de elaborar sustancias orgánicas a partir de sustancias inorgánicas, transformando la energía lumínica proveniente del Sol, en energía química (Boraso y colaboradores, 2004).

Habitano en ambientes acuáticos suspendidos en la columna de agua (planctónicas) o asociadas a un sustrato (bentónicas) (Dreckmann y colaboradores, 2013). Entre los factores ambientales de mayor influencia en su crecimiento, se haya la luz, la temperatura, la salinidad y los minerales disueltos (Boraso y colaboradores, 2004). Estas actúan en el medio en que viven modificando las propiedades fisicoquímicas del mismo; es por ello que, la transparencia o grado de turbidez del agua y su color dependen en gran medida de ellas.

De acuerdo a su tamaño, se diferencian las macroalgas y las microalgas.

Las microalgas representan una alternativa más conveniente que cualquier otra materia prima para la producción de biodiesel, ya que sólo requieren energía solar, agua, CO₂ y algunas sales para producir altos rendimientos de biomasa rica en lípidos. De hecho, son los organismos fotosintéticos más eficientes, absorben más CO₂ y liberan más O₂ que cualquier planta, crecen extremadamente rápido, completando su ciclo de crecimiento en pocos días, y llegan a acumular grandes cantidades de diversos productos (Ruíz Morales, 2013; Loera-Quezada y Olguín, 2010).

⁵ Oligoelementos: pequeños elementos químicos que intervienen en el metabolismo del organismo para nutrir el sistema inmunológico (como el zinc, el potasio y el hierro)

Según Loera-Quezada y Olguín (2010), muchas especies de microalgas son capaces de producir grandes cantidades de lípidos, como respuesta a estímulos físicos y/o químicos que le generan condiciones de estrés, lo que las hace atractiva para la elaboración de Biodiesel. Los principales estímulos químicos son la deficiencia de nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre y silicio), la salinidad y el pH del medio; los físicos son la temperatura y la intensidad luminosa. Estos afectan la tasa de crecimiento y productividad, siendo mayores en comparación al sector forestal convencional y los cultivos agrícolas, y requiriendo menores superficies, hasta 49 a 132 veces menos que en comparación con los cultivos de colza o soja (Ruíz Morales, 2013).

Algas en la Patagonia argentina

La Patagonia argentina se caracteriza por encontrarse costada por el Mar argentino, un recurso necesario para la supervivencia humana no solo por el agua (cantidad y calidad), sino también por aquellas especies que allí habitan como peces y plantas, básicamente algas. Estas constituyen una fuente promisoría para la producción de energía renovable ya que, además de fijar las emisiones de gases de efecto invernadero, no compiten con la producción de alimentos (Camurati y colaboradores, 2019).

El extenso litoral marítimo argentino y el alto rendimiento potencial de biodiesel por hectárea, posiciona las algas como una posible alternativa valorada en la región patagónica, en donde se está desarrollando un proyecto privado, con apoyo del gobierno de la provincia de Chubut (IICA, 2010).

Actualmente, la cantidad de algas en la Patagonia ha aumentado debido al gran número de fábricas que se instalan allí utilizando agua del mar para refrigerar la maquinaria de los procesos industriales. La misma es devuelta al mar con temperaturas superiores, creando un microclima que favorece la rápida reproducción de las algas.

Biodiesel a base de algas

La tendencia mundial es reducir al máximo el uso de combustibles fósiles y reemplazarlos con biocombustibles que sean renovables, no contaminantes y carbonos neutrales (Loera-Quezada y Olguín, 2010). La producción de biodiesel a partir de algas es considerada la forma más eficiente de producir biocombustibles ya que estas últimas son capaces de producir 30 veces más aceite por hectárea que los cultivos tradicionalmente utilizados (Ruíz Morales, 2013).

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (2019), empresas como Oil Fox y Biocombustibles Chubut, han implementado la extracción de aceites de microalgas como una estrategia para reducir la dependencia de las aceiteras para la

producción de biodiesel. Argentina es un verdadero precursor en Biodiesel de algas comercialmente y concreta este estatus a través de Oil Fox, una empresa nacional pionera en la elaboración de biocombustibles.

Características

- Reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (Ruíz Morales, 2013): las algas son los organismos fotosintéticos más eficientes, absorben más CO₂ y liberan más O₂ que cualquier planta (Loera-Quezada y Olgúin, 2010). Los cultivos de oleaginosas absorben el CO₂ mientras crecen, por lo que en el balance no hay aumento en las emisiones (Oil Fox, 2022).
- Al no contener azufre, durante su combustión no produce emisiones de dióxido de azufre, gas altamente contaminante de la atmósfera (IPEC, 2015).
- No es tóxico y es altamente biodegradable (Ruíz Morales, 2013). Es una fuente de energía limpia, renovable, de calidad y económicamente viable, que además contribuye a la conservación del medio ambiente (IICA, 2010).
- La densidad energética del biodiesel es comparable a la del diésel a base de petróleo. Mientras que el poder calórico del diésel a base de petróleo es 42,7 MJ/kg, los valores para el biodiesel varían dependiendo de la fuente de biomasa involucrada. Normalmente, el biodiesel derivado de algas alcanza los 41 MJ/kg (INTA, 2008).
- Su punto de inflamación es mayor que para el gasoil (a una temperatura de 100°C), lo que lo convierte en un combustible más seguro de almacenar y transportar (IPEC, 2015).
- Las algas tienen mayores tasas de crecimiento y productividad en comparación con los cultivos agrícolas, y requieren superficies 1-2 órdenes de magnitud menores (Loera-Quezada y Olgúin, 2010; Ruíz Morales, 2013). Esto reduce la competencia por tierras cultivables para el consumo humano.
- Puede ser producido económicamente en un amplio rango de lugares tanto rurales como urbanos y en diferentes escalas (pequeñas para autoconsumo o comerciales) (IICA, 2010), pudiendo cultivar algas en agua de mar o en agua salobre, disminuyendo así la presión sobre el agua dulce requerida para la producción de alimento. Incluso, en ocasiones, pueden crecer en aguas

residuales, eliminando la competencia por el uso de agua para la agricultura (Loera-Quezada y Olguín, 2010).

Cultivo de las algas

Actualmente, la producción de microalgas oleaginosas para la elaboración de biodiesel se realiza en reactores cerrados, generalmente llamados fotobiorreactores, o en reactores abiertos, conocidos como Lagunas Abiertas. Estas últimas, presentan forma elipsoidal con una separación central que permite formar canales poco profundos en forma de circuito cerrado; se mantienen en agitación mediante paletas giratorias y en ocasiones, cuentan con mecanismos para suministrar CO₂ y nutrientes (Loera-Quezada y Olguín, 2010). Al tratarse de sistemas productivos a cielo abierto existe un riesgo de contaminación por algas indeseables. Esta posible contaminación, unida a la dificultad para regular la temperatura, la iluminación y el aporte de CO₂, hace que su capacidad de producción sea menor que la de otras estructuras de cultivo que requieren una inversión mayor. Por este motivo, se estimula el desarrollo de diversos tipos de sistemas cerrados que permitan un control más preciso de las condiciones de cultivo.

Se pueden cultivar algas con aguas muy diferentes: saladas, dulces, limpias, residuales, etc. También puede variar la temperatura del agua a lo largo del período de cultivo. Sin embargo, encontrar una respuesta para cada caso concreto exige un gran esfuerzo de investigación, especialmente en el campo de la biotecnología, y un desarrollo que garantice el éxito de las nuevas tecnologías.

La producción de algas de aguas dulces y saladas llevan implícito una serie de parámetros muy importantes para su desarrollo ya que cada una tiene una condición natural y necesitan de ciertos elementos como: la iluminación (la precisa y en la calidad y cantidad recomendable por los técnicos), la inyección de CO₂ de manera simple y de bajo costo, el estrés que se les debe provocar a las algas y la alimentación con nutrientes (varía según el tipo de alga). Estos últimos son muy importantes a la hora de evaluar los distintos tipos de algas a cultivar.

Las algas son estresadas a través del fotobiorreactor⁶ para que acumulen la mayor cantidad posible de lípidos. Este proceso se realiza durante 7 días y la cosecha de las algas es diaria.

La acumulación de lípidos en las algas se produce durante períodos de estrés ambiental, incluyendo crecimiento en medios con bajas condiciones de nutrientes. Para

⁶ Fotobiorreactor: maquinaria encargada de cosechar las micro algas y gelificarlas (proceso a través del cual las células son estresadas acumulando así la mayor cantidad de lípidos).

inducir estrés en cultivos de algas para producción de Biodiesel, una de las estrategias es disminuir la ración de compuestos nitrogenados o inducir variaciones en la temperatura, el pH, inanición, etc.

La infraestructura más elemental para el cultivo de algas la constituyen las balsas, habitualmente construidas en forma de canal. Las algas, el agua y los nutrientes circulan a lo largo del canal en el que una rueda de paletas asegura su flujo, mientras las algas se mantienen en suspensión. Son de escasa profundidad para que penetre hasta el fondo la luz del sol. Funcionan de forma continua, alimentándolas constantemente con nutrientes al mismo tiempo que el conjunto del agua con las algas se va desplazando hacia el extremo opuesto de la balsa.

El cultivo de algas en la Patagonia argentina se caracteriza por sembrar algas autóctonas del Mar Argentino en piletas especiales donde la planta se hace adulta y en 7 días se encuentran generadas. Estas deben ser manejadas adecuadamente dándoles los medios necesarios para que puedan acumular hasta un 60% de su peso en lípidos.

Proceso de elaboración del Biodiesel

La extracción del aceite de las algas básicamente es remover el alga de su medio de cultivo (a través de algún proceso de separación adecuado) y luego utilizar las algas húmedas para extraer el aceite. Existen tres métodos conocidos de extracción de aceites de algas:

- Expeller/press: las algas luego de ser secadas mantienen su contenido de aceite, entonces son prensadas con una prensa de aceite. A veces se utiliza una combinación de prensa y solventes de extracción.
- Método del solvente de hexano: este es uno de los solventes de extracción favoritos ya que no es muy caro. Una vez que el aceite es extraído con una prensa se utiliza el ciclohexano para extraer el contenido restante del alga. Luego, por destilación se separa el ciclohexano del aceite.
- Extracción supercrítica del fluido: es un método capaz de extraer el 100% del aceite, pero necesita un alto equipamiento. El CO₂ es licuado hasta el punto de tener las propiedades de un líquido y un gas, entonces este fluido licuado actúa como un solvente en la extracción del aceite.

Existen otros métodos de extracción mucho menos utilizados como la extracción enzimática, el shock osmótico y la extracción a través de ultrasonido.

El proceso de producción de Biodiesel se basa en la reacción de **transesterificación** del aceite. Este proceso consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, como el metanol o etanol, de manera que se produzcan esteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, permite disminuir la viscosidad del aceite, la cual es principalmente ocasionada por la presencia de glicerina en la molécula. La alta viscosidad del aceite impide su uso directo en motores diésel. Por este motivo, para lograr la reacción se requieren temperaturas entre 40 y 60°C, así como la presencia de un catalizador que puede ser la soda o potasa cáustica.

Rendimiento

Según INTA (2008), se estima que la producción anual de aceites por parte de las algas, podría rondar los 90.000 litros por hectárea; frente a los 450 litros de aceite por hectárea que produce la soja, o los 1.200 litros por hectárea que produce la canola o los 6.000 litros por hectárea que produce la palma.

Costo

Las algas representan una alternativa más conveniente que cualquier otro tipo de organismo para la producción de biodiesel ya que, al ser fotosintéticas, sólo requieren energía solar, agua, CO₂ y algunas sales para producir muy altos rendimientos de biomasa rica en lípidos (Loera-Quezada y Olguín, 2010). Por ello, sumado al hecho de que no forman parte de la dieta humana, su disposición disminuye los precios para la elaboración de Biodiesel. Este es significativamente menor al derivado de cualquier oleaginosa.

Sin embargo, los costos de producción de algas están ligados al tipo de reactor que se utilice. Las Lagunas abiertas son de bajo costo de construcción, de operación y de producción de biomasa, pero requieren de grandes áreas de terreno, sufren importantes pérdidas de agua por evaporación y de CO₂ por difusión a la atmósfera, el sistema de mezclado es deficiente lo que origina una baja concentración celular, la cual a su vez, origina una baja productividad. Ésta también resulta afectada por contaminación con otras algas y/o por organismos que se alimentan de microalgas, la costosa recuperación del producto de medios diluidos y dificultad para el control de la temperatura y el pH. Estas desventajas de las lagunas abiertas estimularon el desarrollo de diversos tipos de fotobiorreactores (Loera-Quezada y Olguín, 2010).:

“La factibilidad del Biodiesel a base de algas”
Ing. María Cecilia Monserrat

Tabla 1 Parámetros de diseño y costo entre los fotobiorreactores de tipo placa plana y tubulares, así como de las LA (Loera-Quezada y Olgúin, 2010)

	FOTOBIORREACTORES		
	ABIERTOS	PLANOS	TUBULARES
Volumen (m ³)	10 ³	5.0	5.0
Gas holdup	0.01	0.02	0.01
Coefficiente de transferencia de masa (1/s)	0.010	0.010	0.005
Coefficiente de dispersión (m ² /s)	0.0001	0.030	0.040
Tiempo de mezclado (s)	10 ⁴	150	10 ⁵
Energía (W/m ³)	1	50	100
Pb _{vol} (g/L/día)	0.1	0.6	1.0
Costo (€/m ³)	500	3000	10000

La viabilidad de la producción de Biodiesel a base de algas depende en gran medida del método utilizado en la extracción del aceite, debido a que se trata de un proceso sumamente costoso (INTA, 2008).

Comercialización en la Argentina

De acuerdo a Loera-Quezada y Olgúin (2010), la factibilidad económica del Biodiesel está sujeta al precio del petróleo, ya que el diésel del petróleo es el principal producto con el que compete.

Argentina presenta condiciones altamente favorables para posicionarse como uno de los principales productores y exportadores mundiales de Biodiesel (IICA, 2010). Sin embargo, es producido exclusivamente a partir del cultivo de soja (*Glycine max*) como materia prima (MAGyP, 2022).

La sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles ha sido impulsada por iniciativas del Estado. En 2006, se sancionó en Argentina la Ley n° 26.093 sobre biocombustibles, la cual establece la incorporación de biocombustibles en una proporción o “corte obligatorio” no inferior a 5% en los combustibles fósiles a partir del año 2010 (IPEC, 2015) y no inferior a 10% a partir del 2014 (OIT, 2019).

De acuerdo con esta normativa y las complementarias, las empresas mezcladoras (que resultan ser las mismas empresas refinadoras del sector petroquímico) están obligadas a proveerse de biodiesel producido únicamente por firmas habilitadas por el gobierno para vender al mercado interno. Estas últimas deben despachar el B100 o E100 mediante transporte terrestre de cargas para su posterior mezclado (Rozemberg y colaboradores, 2008).

Actualmente, Argentina cuenta con 36 plantas elaboradoras de Biodiesel (MAGyP, 2022), la mayoría cercanas a las zonas de embarque de Santa Fe y sur de la Provincia de Buenos Aires, respondiendo a la actual estructura agro-exportadora del país.

En Patagonia, la empresa Oil Fox ha promovido la producción de Biodiesel a partir de algas desde el año 2000. Posee una planta productiva en San Nicolás, provincia de Buenos Aires, con una capacidad de 100.000 Tn/año (construida en 2010), donde se instalan los primeros invernaderos para comenzar a reemplazar el aceite de soja por aceite de algas como materia prima para la elaboración de biocombustible.

En diciembre 2011, la empresa obtiene un cupo de 50.000Tn (Mercado Interno) para abastecer a las petroleras y vende el negocio con el fin de reinvertir y construir un parque industrial tecnológico para el desarrollo de más plantas, aumentando la producción y la logística propia. Es así que, en 2012 Oil Fox firma un acuerdo de inversión en Argentina para la construcción de 4 plantas de Biodiesel, un parque de tancaje (almacenamiento) y un puerto.

Un año después, se construye una planta de cultivo de algas con una industria minera para desarrollar un proyecto de bio-remediación mediante la utilización de algas en La Plata (Buenos Aires) con el objetivo de desarrollar focos de producción distribuidos para la obtención de materia prima, disminuyendo los riesgos y diversificando la producción en varios centros operativos tanto a nivel nacional como internacional. Gracias a esta alternativa, se logra incursionar en el mercado de la bio-remediación y desarrollo de tecnologías para la producción de biogás.

A fines del 2018, se construye en la misma localidad, la sexta planta de producción de algas con una capacidad de 80 Tn de procesamiento de desechos agrícolas y residuos sólidos urbanos.

Según MAGyP (2022), Argentina produjo 2,5 millones de Tn/año en 2018, de los cuales el 45% se destinó al mercado interno (1,1 millones de Tn/año) y el 55% restante al mercado internacional (1,4 millones de Tn/año), siendo la capacidad instalada de 4,5 millones de Tn/año.

Informe final

Las algas resultan una fuente promisoría para la producción de energía renovable en un contexto de Cambio Climático ya que, además de fijar las emisiones de dióxido de carbono, principal gas de Efecto Invernadero, no compiten con la producción de alimentos. Dedicar la tierra a generar combustibles es muy ineficiente bajo las tecnologías actuales, y sigue siendo más útil (y urgente) aprovecharla para obtener alimentos para los seres vivos.

La generación de biodiesel tiene similar o mayor rendimiento que el petróleo e involucra un alcance a la diversificación productiva y la sustentabilidad ambiental, con la consecuente generación de puestos de trabajo, y un reordenamiento territorial, relacionado al uso racional del suelo, siendo primordial para su expansión el rol de Estado a partir de políticas públicas e incentivos.

A través del estudio realizado se pudo comprobar que las algas presentes en la Patagonia argentina son favorables para la elaboración de Biodiesel no sólo por el alto contenido de lípidos de las mismas sino, también, por su espontánea reproducción beneficiada por la cantidad de industrias que generan un aumento aún más notorio de algas en la extensa costa del mar argentino. Esto permite a los productores de Biodiesel obtener materia prima más económica, siendo que las algas en Argentina son escasamente utilizadas, y el nivel de biocombustible que se obtiene por hectárea es mucho más alto que el que se obtiene a partir de cualquier oleaginosa. Por este motivo, el rendimiento de producción es, como se relató en el marco teórico, superior que el que se alcanza con la soja y el costo en la elaboración de aceite de algas es significativamente menor que el de cualquier oleaginosa.

Bibliografía

- Boraso A.L., Rico A.E., Perales S., Pérez L. y Zalazar H. 2004. *Algas Marinas de la Patagonia. Una guía ilustrada*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB).
- Camurati J.R., Hocsmán J. y Salomone V.N. 2019. *Potencialidades de las macroalgas marinas argentinas*. Marine and Fishery Sciences 32 (2): 169-183 (2019)
- Dreckmann K.M., Senties A. y Núñez M.L. 2013. *Manual de prácticas de laboratorio. Biología de Algas*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2010. *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel*. San José, C.R.: IICA, 2010. 377 p.; ISBN13: 978-92-9248-196-4
- INTA. 2008. *Compendio de la producción de bioenergía a partir de las algas*. N° Doc IIR-BC-INF-06-08.
- IPEC. 2015. *Biocombustibles en Argentina: contexto y perspectivas*. Provincia de Santa Fe. Marzo 2015
- Loera-Quezada M.M. y Olguín E.J..2010. *Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades*. Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal 1(1):91-116
- OIT (Organización Internacional del Trabajo). 2019. *Estimación del empleo verde en la Argentina. Producción de energía y combustibles*. ISBN: 978-92-2-331001-1
- Rozemberg R., Saslavsky D. y Svarzman G. 2008. *La industria de biocombustibles en Argentina*. La Industria de biocombustibles en el MERCOSUR, Red MERCOSUR. Cap. 2
- Ruíz Morales R.A.. 2013. *Determinación de aceites en algas marinas como potencial materia prima para la producción de biodiesel. Aislamiento, purificación y desarrollo de biomasa de *Odontella aurita*; *Coccolodiscus granii*; *Nitzschia* sp; *Bacillaria* sp; *Senedesmus vacuolatus*, *microalgas provenientes del mar atlántico de Guatemala**. Tesis para título de Ingeniería química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Tejada Tovar C., Tejada Benítez L., Villabona Ortiz A. y Monroy Rodríguez L. 2013. *Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal*. Luna Azul ISSN 1909-2474. No. 36, enero - junio 2013
- Vértiz Díaz L.E. 2009. *Análisis técnico y económico sobre producción, almacenamiento y transporte de biodiesel en Perú*. Tesis para título de Ingeniero Mecánico – Eléctrico. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería.

Páginas Web:

- MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca): <https://www.magyp.gob.ar>
- Oil Fox: <https://oilfox.com.ar/>