

SARGAZO COMO BIOCOMBUSTIBLE: BODIESEL, UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA UNA SOCIEDAD EN CRISIS

SARGASSUM AS BIOFUEL: BODIESEL, A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR A
SOCIETY IN CRISIS

Kevin Brandon Acosta Morales

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 136-150

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0006-3314-6219>

Año 10 No. 28

Recibido: 31/mayo/2023

Aprobado: 30/noviembre/2023

Publicado: 07/enero/2024

Facultad de Ciencias Biológicas, Edificio Multilaboratorios 6, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Avenida San Claudio s/n, Ciudad Universitaria, Colonia San Manuel, 72570, Puebla, Puebla, México.

kevin.acostam@alumno.buap.mx

Resumen

El sargazo es un alga marina altamente invasiva en las costas del caribe mexicano, la constante acumulación de esta materia prima ha causado problemas de alto impacto a zonas dependientes del turismo. En este artículo se presenta una revisión bibliográfica sobre los procesos necesarios para utilizar el sargazo como una fuente de combustible aprovechable y viable. Actualmente, los investigadores están explorando las vastas aplicaciones del sargazo, entre ellas destaca el utilizarlo como materia prima para elaborar biodiésel de alta calidad, mediante técnicas de trans-esterificación. Los resultados de esas pruebas han resultado alentadores para su producción en masa. Gracias a este nuevo proceso de producción se puede obtener un diésel de alta calidad comparable con el comercializado actualmente por las distintas petroleras comerciales, y la ventaja más destacable es que se produce una menor cantidad de gases de efecto invernadero y gases atmosféricos contaminantes que en comparación al proceso industrial convencional. Esta iniciativa ofrece una solución innovadora y sostenible para la elaboración de un biocombustible funcional y eficiente, logrando así reducir drásticamente la proliferación de esta alga en las costas del sureste de México. Sin embargo, dada la complejidad del proceso, se requiere un mayor desarrollo tecnológico y estudios financieros a gran escala para analizar el panorama del producto con el fin de asegurar su viabilidad económica. El uso del sargazo como materia prima podría ser un paso importante hacia una matriz energética sostenible para las regiones afectadas, logrando que biocombustible sea una de las aplicaciones que puede tener el sargazo.

Palabras Clave: Biomasa, energía, combustible, sargazo, diesel.

Abstract

Sargassum, a highly invasive marine algae along the Mexican Caribbean coast, has given rise to significant challenges, particularly in areas heavily reliant on tourism. This article presents a comprehensive review of the processes required to harness sargassum as a usable and viable fuel source, emphasizing the need for innovative solutions. Current research endeavors are exploring diverse applications, with transesterification techniques emerging as a promising avenue for converting sargassum into high-quality biodiesel. The encouraging results from these studies indicate the feasibility of mass production, yielding a diesel variant that not only stands up to commercial standards but also emits fewer greenhouse gases and pollutants than conventional industrial processes. This innovative approach provides a sustainable solution to mitigate the proliferation of sargassum along the southeast coast of Mexico. However, the inherent complexity of the process underscores the necessity for further technological development and in-depth financial studies to ascertain the economic viability of this groundbreaking endeavor. The utilization of sargassum as a raw material represents a crucial stride toward establishing a sustainable energy matrix for regions affected by this algae, positioning biofuel production as a key application. By incorporating sargassum into the energy sector, we aim to reduce the environmental impact while simultaneously addressing the economic and ecological challenges posed by its accumulation in these coastal areas.

Keywords: Biomass, energy, fuel, sargassum, diesel.

Introducción

Una problemática ambiental y social en el Caribe mexicano que ha tomado relevancia los últimos años es la excesiva proliferación de sargazo marino, un alga marina de color café dorado que se encuentra naturalmente en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. Naturalmente este tipo de alga se encuentra en el medio, pero los constantes cambios climatológicos han hecho que haya una alta proliferación de esta en las corrientes marinas, tales corrientes las arrastran hasta las costas de México afectando zonas turísticas por sus características físicas. Cuando el sargazo entra en estado de descomposición libera una serie de olores catalogados como desagradables al público, de igual forma dichos componentes afectan en gravedad la calidad del agua pues este proceso necesita una gran cantidad de oxígeno provocando anoxia y emitiendo gases tóxicos como ácido sulfhídrico junto con metano, los cuales son peligrosos para la salud humana y responsables de la muerte masiva de especies marinas. (León, 2019; Arratiel, 2022)

Afortunadamente el sargazo representa una oportunidad para convertirlo en materia prima para diversos productos, entre ellos destaca su conversión a alimentos agropecuarios, bioplásticos, productos de belleza entre otras aplicaciones, pero entre todas destacan los biocombustibles, en específico un tipo de biodiesel denominado parafínico. El biodiesel es químicamente hablando un metil éster obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales, en Europa como en Canadá el biodiesel producido es proveniente del aceite de colza mientras que en Estados Unidos proviene a partir del aceite de soja. Esta alternativa resulta muy importante para el sector energético y económico, pues es una opción más sostenible y amigable

con el medio ambiente en comparación con combustibles convencionales derivados del petróleo. Es importante destacar que la utilización de esta materia prima sigue en investigación y desarrollo, pero con resultados alentadores, ya que en este artículo profundizaremos en la viabilidad del sargazo como materia prima para la obtención de biodiésel parafínico. (Tejada, 2013; Andersen, 2010)

Justificación

La presente revisión bibliográfica se enfocará en los estudios actuales sobre la problemática que representa el exceso de sargazo para la salud medioambiental, debido a la creciente acumulación de esta materia en el Gran Caribe y parte del Ecuador han desembocado en graves problemas para los organismos marinos como para la salud humana. Este trabajo tiene como finalidad exponer las circunstancias y condiciones por las que este evento ecológico está ocasionando un desbalance mortal para el ecosistema. Finalmente, se revisarán las opciones y alternativas que el método científico puede ofrecer para dar soluciones viables.

Sargazo como agente doble en una guerra ecológica

Sargassum natans y *Sargassum fluitans* o sargazo, como se le conoce coloquialmente, tiene un papel importante en la salud oceánica, pues esta masa de algas funciona como un hábitat perfecto para el desarrollo de crías de diversos peces al mismo tiempo que funciona como un refugio para las especies migratorias. Aún más relevante es su papel en la cadena trófica, pues este sirve como alimento para múltiples especies de interés ecológico como tortugas marinas y peces grandes, actualmente se encuentra diseminado en las costas de Brasil, África y el Gran Caribe. (CONABIO, 2023)



Figura 1. Sargazo (Obtenido en CONABIO, 2023, <https://simar.conabio.gob.mx/alertas/#sargazo>)



Figura 2. Sargazo como alimento para peces marinos (Obtenido en Greenpeace, 2019, <https://www.greenpeace.org/mexico/noticia/3055/es-el-sargazo-realmente-malo/>)

Biológicamente hablando, el sargazo representa una estructura ecológica vital para el medio ambiente, pero como todo en el medio natural, el más mínimo cambio puede provocar cambios drásticos perjudiciales para todos los

seres vivos. Es común ver en los últimos años un aumento exponencial en la cantidad de sargazo en el Caribe como en la zona costera del sur de México. Hay múltiples causas antropogénicas por las que el sargazo se convierte en la plaga actual, cambios constantes en la situación climática, aumento de la temperatura marina y desecho de basura en mares son los principales factores de crecimiento del sargazo. El sargazo crece rápidamente a partir de residuos orgánicos y un exceso de nutrientes en el agua que fungen como fertilizante, provocando un exceso de biomasa que no puede ser controlado naturalmente en su ciclo biológico. Bajo condiciones de una buena salud marina, el sargazo llega en pequeñas cantidades a las costas del Ecuador, sirviendo como una fuente de alimento vital para aves, peces y la vegetación costera. (CONABIO, 2023; Gower, 2011)

Cuando el sargazo en crecimiento desmedido se acumula en las zonas costeras implica muchos problemas a nivel ecológico como social y monetario. Las zonas dependientes de turismo sufren una drástica baja en el nivel de visitantes consecuencia de los efectos de descomposición del alga, pues un producto de este proceso es el sulfuro de hidrógeno. Ya que puede provocar náuseas, lagrimeo y dolor de cabeza (cefalea) y en el caso de la vida marina la descomposición del sargazo implica un aumento de microorganismos que reducen drásticamente la cantidad de oxígeno disponible, provocando asfixia que junto con los efectos del ácido sulfídrico pueden provocar la muerte en organismos marinos. Cabe destacar que la acumulación de esta alga es un impedimento en la movilidad local, pues la mayoría de las embarcaciones suele atascar las hélices de sus motores con la densa red algacea. (Martínez-González, 2019; CONABIO, 2023)



Figura 3. Tortuga muerta por intoxicación de sargazo. (Obtenido en Turquesa News, 2019, <https://turquesanews.mx/quintana-roo/mato-el-sargazo-a-78-especies-de-fauna-marina-en-quintana-roo/>)



Figura 4. Cardumen de peces muertos por intoxicación de sargazo. (Obtenido en Turquesa News, 2019, <https://turquesanews.mx/quintana-roo/mato-el-sargazo-a-78-especies-de-fauna-marina-en-quintana-roo/>)

El papel que tiene el sargazo en el Caribe es de suma vitalidad para el equilibrio natural, pero bajo las condiciones mencionadas con anterioridad se vuelve

en extremo perjudicial para la vida que depende de él. Por ello, la problemática actualmente es de alto interés para la comunidad científica que busca brindar soluciones óptimas para tratar este perjudicial caos ecológico, una propuesta que ha tomado fuerza con el pasar de los años es transformar el sargazo en un biocombustible en específico un biodiésel.

Biodiésel como biocombustible ¿Una opción viable?

Actualmente, la situación medioambiental es un tema de preocupación mundial, las actividades antropogénicas si bien han brindado un alto impacto en la sociedad tecnológica moderna; los problemas ecológicos derivados de esto han crecido a la par. Hoy en día es prioridad internacional producir energías limpias o con la menor producción de emisiones de gases de efecto invernadero y gases climatológicos contaminantes, la energía solar y eólica son las opciones más populares cuando se busca este tipo de energía, pero con la limitación de obtener un resultado variable y poco eficiente según las condiciones ambientales y factores como la geografía, logística y mantenimiento son limitantes a considerar para llevar la producción de energía a gran escala. Por lo anterior, equipos de investigación de todo el mundo buscan producir energía limpia utilizando materia como gas natural, nitrógeno, etanol y biodiésel. (Al-Dawody, 2023)

El combustible convencional derivado de depósitos fósiles se ha convertido en el principal precursor de la liberación de carbono en la atmósfera y debido a sus características fisicoquímicas, este permanece en el ecosistema terrestre por largos períodos de tiempo, provocando cambios importantes en la temperatura global. En los últimos diez años se ha visto una creciente preocu-

pación por la reserva de combustibles fósiles, por esta razón se ha vuelto una prioridad buscar nuevas formas de energía limpia. En muchos países, el biodiesel junto a otras variantes del diesel ya han sido implementados como un combustible eficiente, pues su uso ha reducido en un 78% las emisiones de dióxido de carbono en comparación con el combustible convencional. Otra de las ventajas de este biocombustible es que se puede utilizar sin modificar los motores de combustión interna convencionales. (Koul, 2021; Mohd, 2017; Alleman, 2016)



Figura 5. Botella con biodiesel. (Obtenido en Shizhao, 2005, <https://es.wikipedia.org/wiki/Biodiesel#/media/Archivo:Biodiesel.JPG>)

El proceso químico que se realiza para partir de la materia prima, como lo es el sargazo a un biodiesel aprovechable, se basa en el hidroprocesamiento de aceites vegetales. Este método consiste en someter al aceite vegetal a elevadas temperaturas y presiones para que junto con catalizadores se sinteticen hidrocarburos de cadena lineal llamados diesel renovable. Junto con técnicas como el craqueo o la pirólisis se pueden producir combustibles diesel con una

estructura molecular muy parecida a la del diesel convencional obtenido por el refinamiento de petróleo. Una ventaja sobre el proceso convencional es que la materia prima utilizada para la producción de biodiesel y diesel renovable es la misma, lo que significa una reducción destacable de la huella de carbono. (Koul, 2021; Kumar, 2019)

Hay que hacer énfasis entre la diferencia de biodiesel y diesel renovable, el primero se somete a un proceso de trans-esterificación donde los aceites vegetales se convierten en ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, mientras que el diesel renovable se produce a partir de hidrotratamientos o gasificación y este puede incluir otros combustibles derivados de la biomasa como aceite vegetal hidrotratado y GTL (gas-to-liquid). Aunque los procesos de fabricación son diferentes en ambos, tienen la propiedad de ser excelentes opciones como biocombustibles, por lo que se deberá analizar con detenimiento las condiciones que sean más favorables financieramente para su síntesis a gran escala. (Koul, 2021; Ankit, 2021; Bezergianni, 2013)

Receta secreta para el biodiesel
Como se ha mencionado con anterioridad, la trans-esterificación es el método más empleado para producir biodiesel porque en comparación con otros métodos como la microemulsión o pirólisis, es el que produce la mejor tasa de conversión (98%) en el menor tiempo posible y sin pasos intermedios. (Tejada, 2013; Lin et al., 2011)

La reacción consta de mezclar grasas y aceites con alcohol metílico en un medio básico, en donde una molécula de triglicéridos reacciona con el alcohol primario gracias a un catalizador donde el producto será una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina. (Tejada, 2013; Arévalo et al, 2008; Math et al, 2010; Keera, 2011)

Los catalizadores utilizados en este

proceso pueden ser soda cáustica o metilato sódico, los cuales se disuelven en metanol. La tecnología básica para producir biodiesel implica el uso de un reactor donde se lleva a cabo la trans-esterificación. Por un lado, se prepara una solución de metóxido de sodio en un tanque auxiliar, utilizando alcohol de alta pureza (generalmente metanol) e hidróxido de sodio. No se emplea alcóxido anhidro debido a que reacciona violentamente con agua y puede autoinflamarse. Esta solución altamente cáustica se vierte en el reactor principal, que contiene los lípidos fundidos. La reacción se suele llevar a cabo a una temperatura de aproximadamente 50 °C para acelerar el proceso. En procesos industriales más complejos, se utilizan centrifugas para separar el biodiesel y la glicerina generada, eliminando continuamente los productos de reacción. Sin embargo, los métodos por lotes, donde se realiza una decantación de la glicerina, aún son comunes. Después de separar la glicerina, se lava el éster para eliminar jabones y otros subproductos indeseados de la reacción como jabones. (Tejada, 2013; Larosa, 2003)

Ventajas del biodiesel

La principal ventaja de utilizar este biocombustible es que su uso no requiere de modificaciones en los motores de combustión interna que usan diesel convencional. Gracias a la densa cantidad de sargazo que azota el Caribe Mexicano, se puede diseñar un modelo de autoabastecimiento para el sector que dependa de este combustible como el agropecuario, construcción y movilidad marítima. Este biocombustible presenta gran poder de lubricación a la par que minimiza el desgaste progresivo del motor. Cabe destacar la gran reducción de las emisiones de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), dióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), en

comparación con el combustible diesel convencional. El rendimiento es muy similar al convencional, por lo que puede mezclarse con gasoil en cualquier proporción. Finalmente, una ventaja con alto peso ecológico es que no es nocivo para la salud humana, la vegetación ni los seres vivos, pues este compuesto es biodegradable. (Tejada, 2013; Oner & Altun, 2009; Balat & balat, 2010)

Desventajas del biodiesel

La síntesis de este biocombustible puede estar limitada a la disponibilidad de la materia prima, aunque en el caso del Caribe no habría problema, pues es rico en esta plaga de sargazo. La combustión del biodiesel puede aumentar de manera significativa derivados del óxido de nitrógeno (NOX). Otro problema es que presenta una baja estabilidad oxidativa, por lo que su almacenamiento no se recomienda por periodos de tiempo mayores a seis meses. Posee un alto poder solvente, en consecuencia no puede estar en contacto con plásticos y derivados del caucho natural, obligando a los consumidores a reemplazar componentes como mangueras de ser necesario. (Tejada, 2013; Balat & Balat, 2010).

Panorama ecológico

El Mar de los Sargazos, ubicado en la altamar del océano Atlántico septentrional, es un ecosistema flotante que alberga más de 60 especies, algunas de ellas endémicas. Este hábitat actúa como refugio y fuente de alimento para diversos organismos, como el cangrejo *Planes minutus*, el camarón *Latreutes fucorum*, el pez *Syngnathus pelagicus* y la anémona *Anemonia sargassensis*. El sistema de corrientes en esta región permite que las aguas superficiales cálidas giren lentamente sobre las aguas profundas más frías en sentido horario, desempeñando un papel crucial en la biología de las especies que dependen de las macroalgas del sargazo. Por ejemplo, las anguilas americanas

y europeas desovan en este entramado de algas y, una vez que las larvas emergen, viajan a sus lugares de origen para luego regresar años después y reproducirse. Además de su importancia biológica, el Mar de los Sargazos también brinda refugio a especies en peligro de extinción como la tortuga caguama y sirve como ruta migratoria para grandes mamíferos como la ballena jorobada. (SINC, 2022)



Figura 5. Botella con biodiesel. (Obtenido en Shizhao, 2005, <https://es.wikipedia.org/wiki/Biodiesel#/media/Archivo:Biodiesel.JPG>)

El proceso químico que se realiza para partir de la materia prima, como lo es el sargazo a un biodiesel aprovechable, se basa en el hidroprocesamiento de aceites vegetales. Este método consiste en someter al aceite vegetal a elevadas temperaturas y presiones para que junto con catalizadores se sintetizen hidrocarburos de cadena lineal llamados diesel renovable. Junto con técnicas como el craqueo o la pirólisis se pueden producir combustibles diesel con una estructura molecular muy parecida a la del diesel convencional obtenido por el refinamiento de petróleo. Una ventaja sobre el proceso convencional es que la

materia prima utilizada para la producción de biodiesel y diesel renovable es la misma, lo que significa una reducción destacable de la huella de carbono. (Koul, 2021; Kumar, 2019).

Hay que hacer énfasis entre la diferencia de biodiesel y diesel renovable, el primero se somete a un proceso de trans-esterificación donde los aceites vegetales se convierten en ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, mientras que el diesel renovable se produce a partir de hidrotratamientos o gasificación y este puede incluir otros combustibles derivados de la biomasa como aceite vegetal hidrotratado y GTL (gas-to-liquid). Aunque los procesos de fabricación son diferentes en ambos, tienen la propiedad de ser excelentes opciones como biocombustibles, por lo que se deberá analizar con detenimiento las condiciones que sean más favorables financieramente para su síntesis a gran escala. (Koul, 2021; Ankit, 2021; Bezerghianni, 2013).

Receta secreta para el biodiesel

Como se ha mencionado con anterioridad, la trans-esterificación es el método más empleado para producir biodiesel porque en comparación con otros métodos como la microemulsión o pirólisis, es el que produce la mejor tasa de conversión (98%) en el menor tiempo posible y sin pasos intermedios. (Tejada, 2013; Lin et al., 2011)

La reacción consta de mezclar grasas y aceites con alcohol metílico en un medio básico, en donde una molécula de triglicéridos reacciona con el alcohol primario gracias a un catalizador donde el producto será una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina. (Tejada, 2013; Arévalo et al, 2008; Math et al, 2010; Keera, 2011)

Los catalizadores utilizados en este proceso pueden ser soda cáustica o metilato sódico, los cuales se disuel-

ven en metanol. La tecnología básica para producir biodiesel implica el uso de un reactor donde se lleva a cabo la trans-esterificación. Por un lado, se prepara una solución de metóxido de sodio en un tanque auxiliar, utilizando alcohol de alta pureza (generalmente metanol) e hidróxido de sodio. No se emplea alcóxido anhidro debido a que reacciona violentamente con agua y puede autoinflamarse. Esta solución altamente cáustica se vierte en el reactor principal, que contiene los lípidos fundidos. La reacción se suele llevar a cabo a una temperatura de aproximadamente 50 °C para acelerar el proceso. En procesos industriales más complejos, se utilizan centrifugas para separar el biodiesel y la glicerina generada, eliminando continuamente los productos de reacción. Sin embargo, los métodos por lotes, donde se realiza una decantación de la glicerina, aún son comunes. Después de separar la glicerina, se lava el éster para eliminar jabones y otros subproductos indeseados de la reacción como jabones. (Tejada, 2013; Larosa, 2003)

Ventajas del biodiesel

La principal ventaja de utilizar este biocombustible es que su uso no requiere de modificaciones en los motores de combustión interna que usan diesel convencional. Gracias a la densa cantidad de sargazo que azota el Caribe Mexicano, se puede diseñar un modelo de autoabastecimiento para el sector que dependa de este combustible como el agropecuario, construcción y movilidad marítima. Este biocombustible presenta gran poder de lubricación a la par que minimiza el desgaste progresivo del motor. Cabe destacar la gran reducción de las emisiones de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), dióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), en comparación con el combustible diesel

convencional. El rendimiento es muy similar al convencional, por lo que puede mezclarse con gasoil en cualquier proporción. Finalmente, una ventaja con alto peso ecológico es que no es nocivo para la salud humana, la vegetación ni los seres vivos, pues este compuesto es biodegradable. (Tejada, 2013; Oner & Altun, 2009; Balat & balat, 2010)

Desventajas del biodiesel

La síntesis de este biocombustible puede estar limitada a la disponibilidad de la materia prima, aunque en el caso del Caribe no habría problema, pues es rico en esta plaga de sargazo. La combustión del biodiesel puede aumentar de manera significativa derivados del óxido de nitrógeno (NOX). Otro problema es que presenta una baja estabilidad oxidativa, por lo que su almacenamiento no se recomienda por periodos de tiempo mayores a seis meses. Posee un alto poder solvente, en consecuencia no puede estar en contacto con plásticos y derivados del caucho natural, obligando a los consumidores a reemplazar componentes como mangueras de ser necesario. (Tejada, 2013; Balat & Balat, 2010).

Panorama ecológico

El Mar de los Sargazos, ubicado en la altamar del océano Atlántico septentrional, es un ecosistema flotante que alberga más de 60 especies, algunas de ellas endémicas. Este hábitat actúa como refugio y fuente de alimento para diversos organismos, como el cangrejo *Planes minutus*, el camarón *Latreutes fucorum*, el pez *Syngnathus pelagicus* y la anémona *Anemonia sargassensis*. El sistema de corrientes en esta región permite que las aguas superficiales cálidas giren lentamente sobre las aguas profundas más frías en sentido horario, desempeñando un papel crucial en la biología de las especies que dependen de las macroalgas del sargazo.

Por ejemplo, las anguilas americanas y europeas desovan en este entramado de algas y, una vez que las larvas emergen, viajan a sus lugares de origen para luego regresar años después y reproducirse. Además de su importancia biológica, el Mar de los Sargazos también brinda refugio a especies en peligro de extinción como la tortuga caguama y sirve como ruta migratoria para grandes mamíferos como la ballena jorobada. (SINC, 2022)



Figura 6. Tortuga caguama. (Obtenido en Roberto Pillón, 2016, <https://www.naturalista.mx/taxa/39665-Caretta-caretta>)

Aunque todavía existen incógnitas sobre los orígenes de este problema ambiental, las hipótesis más sólidas sugieren que el crecimiento y la expansión del sargazo se deben a: cambios en las corrientes oceánicas causados por el derretimiento de los polos y los glaciares, junto con la aportación de nutrientes y materia orgánica provenientes de los ríos Amazonas y Orinoco en América del Sur. Estos factores han favorecido la reproducción rápida y caótica de estos organismos, capaces de duplicar su masa en menos de 18 días. Aunque puede haber estrategias de mitigación a corto plazo, como la eliminación física del sargazo en el mar o en las playas, estas no parecen ser una solución efectiva a largo plazo

para contrarrestar los impactos de los eventos de varamiento de sargazo. (SINC, 2022)

¿Hay más alternativas?

El biocombustible que puede obtenerse partir del sargazo es solo una de las múltiples aplicaciones que se le puede dar al alga, a pesar de ser considerada un problema grave, es un hecho que el sargazo presenta muchos usos potenciales que pueden ser aprovechados en beneficio humano, pues con el correcto tratamiento es un recurso valioso y aprovechable.

En el ámbito agrícola, el sargazo tiene un potencial para ser procesado como un fertilizante orgánico con buenas propiedades benéficas para el crecimiento de plantas, pues su alto contenido en micronutrientes y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio lo hacen ideal para este fin. Estos nutrientes pueden ser utilizados para mejorar las condiciones fértiles del suelo, como aumentar la producción de cultivos y reducir así la dependencia de fertilizantes químicos convencionales. Además, el sargazo tiene la propiedad de retener la humedad del suelo, lo que contribuye a la conservación de recursos hídricos y la mitigación de la erosión del suelo. (Hernández-Herrera, 2018)

El sector alimenticio es otro de los beneficiados por el sargazo, pues algunas variedades de sargazo llegan a ser comestibles como se ha visto en varias culturas costeras, un ejemplo de esto es el *Sargassum fusiforme*, conocido en Asia como “wakame” el cual es un alga muy utilizada en la preparación de sopas, ensaladas y platos salteados. Es importante mencionar que el sargazo y sus propiedades nutricionales varían según la región geográfica, así como las prácticas culinarias. Es de vital importancia y cuidado asegurarse de obtener un sargazo libre de contaminantes si se pretende destinarla al consumo humano. (Mouritsen, 2013)



Figura 7. Alga Wakame con ajonjolí (Obtenido en ABC Bienestar, 2019, https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-wakame-201909240904_noticia.html)

El uso del sargazo es en la industria farmacéutica y cosmética, pues se sabe que las algas marinas contienen compuestos bioactivos como antioxidantes, de alto interés para desarrollar productos destinados a la estética y salud humana. Actualmente, hay investigaciones con algas marinas para conocer el mecanismo de acción de sus propiedades antienvjecimiento y antioxidantes.

Una aplicación popular en los últimos años es crear biopolímeros o bioplásticos derivados de materia vegetal, el sargazo puede usarse como materia prima para estos productos. Actualmente, existe plástico biodegradable a base de trigo, yuca, maíz y demás materias primas renovables.



Conclusiones

Tras analizar con detenimiento las características de este potencial biocombustible, podemos asegurar que el biodiesel a partir de sargazo es una opción viable y prometedora para brindar una solución ante la constante invasión excesiva de sargazo. Sin embargo, es importante mencionar que la implementación de un sistema energético autosustentable y autosuficiente representa aún un reto para la comunidad científica, afortunadamente los avances tecnológicos modernos han permitido dar pasos más grandes hacia la materialización de este sistema. Es relevante fomentar el papel que tiene el sargazo y cualquier otro organismo vivo en el ambiente para generar conciencia sobre la fragilidad del medio marino.

Agradecimientos

Expreso mi gratitud con la PhDs. Beatriz Espinosa Aquino, por brindar su tiempo a la revisión y corrección de este artículo. De igual forma, se reconoce el esfuerzo de la docente durante el curso, brindando las herramientas necesarias para entender el panorama científico actual respecto al cuidado del medio ambiente.

Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Referencias

- ABC Bienestar. (2019, September 24). Wakame: beneficios, propiedades y curiosidades de las algas. *Abc*; ABC.es. https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-wakame-201909240904_noticia.html
- Andersen, O., & Weinbach, J.-E. (2010). Residual animal fat and fish for biodiesel production. Potentials in Norway. *34*(8), 1183–1188. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.03.010>
- Al-Dawody, M. F., Wisam Al-Obaidi, Aboud, E. D., Abdulwahid, M. A., Khaled Al-Farhany, Wasim Jamshed, Eid, M. R., Zehba Raizah, & Iqbal, A. (2023). Mechanical engineering advantages of a dual fuel diesel engine powered by diesel and aqueous ammonia blends. *346*, 128398–128398. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128398>
- Alleman, T. L., McCormick, R. L., Christensen, E. D., Fioroni, G., Moriarty, K., & Yanowitz, J. (2016, November 8). *Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition)*. Osti.gov. <https://www.osti.gov/biblio/1347103>
- Ankit, S., & Kumar, N. (2019). Comparison of fuel characteristics of hydrotreated waste cooking oil with its biodiesel and fossil diesel. *28*(10), 11824–11834. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07110-w>
- Arévalo, P., Ulloa, J., & Astudillo, S. (2008). Obtención de biodiesel a partir de grasa bovina. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, *8*(2), 9-16.
- Arratibel, A. J. (2022, August 17). El sargazo, la marea parda que amenaza las costas del Caribe: ¿ha llegado para quedarse? *El País América*. <https://elpais.com/america-futura/2022-08-17/el-sargazo-la-marea-parda-que-amenaza-las-costas-del-caribe-ha-llegado-para-quequedarse.html>
- Bezergianni, S., & Dimitriadis, A. (2013). Comparison between different types of renewable diesel. *21*, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.042>
- Mouritsen, O. G. (2013). *Seaweeds: Edible, Available, and Sustainable*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB1432778X>
- Cengiz Öner, & Şehmus Altun. (2009). Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. *86*(10), 2114–2120. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.01.005>
- CONABIO. (2023, 3 abril). Alertas tempranas - SIMAR. SIMAR <https://simar.conabio.gob.mx/alertas/#sargazo>
- Cauhtémoc León. (2019). El sargazo a escena. *61*(5, sep-oct), 701–701. <https://doi.org/10.21149/10870>

El sargazo: la macroalga desatada que amenaza al Caribe mexicano. (2022). Agencia SINC. <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/El-sargazo-la-macroalga-desatada-que-amenaza-al-Caribe-mexicano>

Gustavo Israel Martínez-González. (2019). Sargassum: the atypical irruption of an ancient ecosystem. 61(5, sep-oct), 698–698. <https://doi.org/10.21149/10838>

Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Andrea, D., Hernández-Carmona, G., Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Andrea, D., & Hernández-Carmona, G. (2018). Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica*, 28(1), 129–140. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972018000100129

J. F. R. Gower & S. A. King (2011) Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS, *International Journal of Remote Sensing*, 32:7, 1917-1929, DOI: 10.1080/01431161003639660

Koul R, Kumar N, Singh RC (2019) Efectos ambientales: una revisión de la producción y las propiedades fisicoquímicas del diésel renovable y su comparación con el biodiésel, 7036. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1646355>

Koul, R., Kumar, N., Singh, RC (2021). Características de emisión del diésel renovable y su comparación con el combustible diésel en motores diésel monocilíndricos. En: Sikarwar, BS, Sundén, B., Wang, Q. (eds) *Avances en ingeniería térmica y de fluidos. Apuntes de clase en ingeniería mecánica*. Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0159-0_52

Larosa, R. (2003). Proceso para la producción de BIODIESEL. Recuperado http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/biodie_lar/biodie_lar.htm

Lin, L., Zhou Cunshan, Saritporn Vittayapadung, Shen Xiangqian, & Mingdong, D. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. 88(4), 1020–1031. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.029>

Math, M. C., Kumar, S., & Chetty, S. V. (2010). Technologies for biodiesel production from used cooking oil – A review. 14(4), 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.08.001>

Mohd, Abdullah Abdul Adam, Najafi, G., & Rizalman Mamat. (2017). Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review. 80, 694–709. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.140>

News, T. (2019, June 19). Mató el sargazo a 78 especies de fauna marina en Quintana Roo. *Turquesa News*. <https://turquesanews.mx/quintana-roo/mato-el-sargazo-a-78-especies-de-fauna-marina-en-quintana-roo/>

Mustafa Balat, & Havva Balat. (2010). Progress in biodiesel processing. 87(6), 1815–1835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.01.012>

Roberto Pillon, algunos derechos reservados (CC BY-NC), subido por Roberto Pillon · Naturalista Mexico. (2016). *Naturalista Mexico*. <https://www.naturalista.mx/photos/176772831>

Safaa tawfeek Keera, El, M., & Taman, A. R. (2011, January 31). Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. ResearchGate; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/244068538_Transesterification_of_vegetable_oil_to_biodiesel_fuel_using_alkaline_catalyst

Shin Zhao (2003, October 20). carburante. Wikipedia.org; Wikimedia Foundation, Inc. <https://es.wikipedia.org/wiki/Biodi%C3%A9sel#/media/Archivo:Biodiesel.JPG>

Tovar, t., Tejada benítez, lesly, ortiz, v., & Monroy rodríguez, luis. (2013). Obtención de biodiesel con grasa residual animal. Luna azul, 36, 10–25. [Http://www.Scielo.Org.Co/scielo.Php?Script=sci_arttext&pid=s1909_24742013000100002](http://www.Scielo.Org.Co/scielo.Php?Script=sci_arttext&pid=s1909_24742013000100002)