# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DEL USO DE LAS ALGAS DE ARRIBAZÓN CONOCIDAS COMO SARGAZO (*Sargassum* spp.*)*

LAURA VICTORIA MOTTA BARROS
SOFÍA RODRIGUEZ ZORRO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2020

# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DEL USO DE LAS ALGAS DE ARRIBAZÓN CONOCIDAS COMO SARGAZO (*Sargassum* spp.*)*

LAURA VICTORIA MOTTA BARROS
SOFÍA RODRIGUEZ ZORRO

Documento teórico para optar el título de:
INGENIERO QUÍMICO

Director:
Mónica Puyana Hegedus Ph. D.

Codirector:
Gladys Rozo Torres Dr. Sc.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2020

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Juan Andrés Sandoval Herrera
Jurado 1

_____
William Javier Espitia Abril
Jurado 2

Bogotá D.C., Septiembre 2020

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

**Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretaria General

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Decano General de la Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Ing. IVÁN RAMIREZ MARIN**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## DEDICATORIAS

A mi mamá, que ha sido mi ejemplo a seguir desde mi primer día de vida; es una mujer muy fuerte que me ha apoyado en absolutamente todo, ahora es mi momento de apoyarla y de dedicarle este primer triunfo de muchos, porque es gracias a ella que en estos momentos estoy donde estoy y sé cuál es el camino que quiero seguir. Negrita, gracias a ti es que he podido seguir adelante con todo, tú me inspiras a ser mejor persona, mejor profesional y mejor mujer cada día que pasa, amo tenerte a mi lado, y te demostraré que este sacrificio ha valido la pena cada momento.

Te amo.

A mis hermanos, porque aunque peleemos me ayudan en todo lo que necesite, se preocupan por mi bienestar así como yo me preocupo por el de ellos, porque por ellos me formé de la forma en la que soy, porque mi hermano mayor me enseñó a tratar con las personas de manera divertida y aprendí a no frustrarme por cualquier cosa, con mi hermana menor aprendí a tener paciencia, pero sobretodo, con ellos dos aprendí a amar a personas completamente distintas a mí, aprendí que a pesar de las diferencias la familia siempre va a ser familia.

Los adoro.

A mi papá, fuiste alguien que me ayudó a crecer en todos los aspectos de mi vida, fuiste fortaleza y amabilidad hecha persona, te dedico este triunfo sobre todo a ti, que llegaste conmigo casi hasta el final, pero que desgraciadamente me fuiste arrebatado antes de culminar esta meta. A ti, hombre, te dedicaré todas mis victorias en la vida, porque nunca tuve un apoyo tan incondicional como lo fue el tuyo, porque sé que estarás celebrando conmigo desde donde quiera que te encuentres, siempre te recordaré.

Te amé y te amaré.

***Laura Victoria Motta Barros***

## DEDICATORIAS

A mi mamá, Sandra, que es la mujer más fuerte y luchadora que conozco, que me enseñó a jamás rendirme ante las adversidades de la vida, a que no debo estancarme en las cosas malas y seguir adelante sin importar las circunstancias. A ti, te dedico este y todos los logros que juntas podremos obtener.

A Carlos, que es el papá que la vida me dio, te doy gracias infinitas desde el corazón, por guiarme y apoyarme siempre en cada decisión, por creer siempre en mí.

A mis hermanos, Nicolás y Sebastián, que me dan alegría todos los días, espero ser su ejemplo a seguir y que puedan encontrar siempre un apoyo en mí.

A mi familia materna, que siempre ha estado muy pendiente de mí, celebrando mis victorias y apoyándome en las derrotas.

A todos ustedes, les dedico este logro, porque sin su amor y compresión no estaría hoy donde estoy. Gracias a ustedes hoy puedo decir que soy *Ingeniera Química*.

***"Sin un poco de sombra nunca hay claridad"***

***Sofía Rodriguez Zorro***

## AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial agradecemos a Mónica Puyana, que desde el primer momento que le planteamos nuestra idea no dudó ni un segundo para aceptarla y ser nuestra directora, gracias a ti pudimos desarrollar este trabajo. Gracias por enseñarnos tantas cosas de las algas, ten por seguro que les cogimos mucho amor, estaremos eternamente agradecidas.

A Gladys Rozo, por su orientación dentro y fuera del laboratorio, por guiarnos siempre y no dejarnos perder en el camino.

A la Universidad Jorge Tadeo Lozano por permitirnos el uso de sus instalaciones para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad de América por abrirnos las puertas para culminar esta carrera, a sus directivas, docentes y demás funcionarios que nos llenaron de conocimiento y siempre fueron muy amables.

A todos nuestros amigos y compañeros, gracias por todas las experiencias vividas, los llevaremos siempre en nuestros corazones.

***Laura Victoria Motta Barros y Sofía Rodriguez Zorro***

Te agradezco a ti, Sofi, que te arriesgaste a ser mi compañera, que me tuviste paciencia en todo momento, porque nos divertimos y frustramos demasiado haciendo este trabajo, te agradezco la persona que eres y amiga en que te has convertido para mí, agradezco este trabajo que realizamos juntas. Sé con certeza, ahora que conozco un poco más de ti que serás una gran profesional, que nada te quedará grande y podrás cumplir todas las metas que te propongas, te quiero mujer.

***Laura M***

A ti, Laura, te agradezco por ser una amiga incondicional, porque a veces somos como el agua y el aceite, pero siempre encontramos la manera de entendernos muy bien. No hubiera podido encontrar una mejor compañera que tú, las horas en el laboratorio hubieran sido muy aburridas sin ti. Gracias por terminar esta etapa tan importante conmigo. Espero que la vida nos siga juntando en este y mil proyectos más. Te quiero amiga linda, siempre estaré para darte un poco de luz.

***Sofía R***

**CONTENIDO**

**pág.**


INTRODUCCIÓN 18

OBJETIVOS 19

1. MARCO TEÓRICO 20
1.1 ALGAS 20
1.2 SARGAZO 24
1.2.1 Cinturón de *Sargassum* 25
1.3 COMPONENTES DE ALGAS PARDAS Y PROPIEDADES 28
1.3.1 Alginatos. 28
1.3.2 Fucoidanos. 29
1.3.3 Laminaranos. 31

2. USOS DEL SARGAZO (*SARGASSUM* SPP.) 33
2.1 FERTILIZANTES 33
2.2 PRODUCTOS ALIMENTICIOS 34
2.3 BIORREMEDIACIÓN 36
2.4 BIOCOMBUSTIBLES 39
2.5 PIGMENTOS 41
2.6 ALIMENTOS PARA ANIMALES 44
2.7 OTROS 46

3. PROCESOS UNITARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE POLISACÁRIDOS PROVENIENTES DEL SARGAZO 48
3.1 PROCESOS UNITARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE FUCOIDANOS 48
3.2 PROCESOS UNITARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ALGINATOS 51
3.3 PROCESOS UNITARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAMINARANOS 52
3.4 OTROS MÉTODOS PARA LA EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDOS EN ALGAS PARDAS 53

4. INDUSTRIAS QUE PODRÍAN BENEFICIARSE DE LOS POLISACÁRIDOS DEL SARGAZO 56
4.1 INDUSTRIAS QUE PODRÍAN USAR LOS FUCOIDANOS 56
4.2 INDUSTRIAS QUE PODRÍAN USAR LOS ALGINATOS 58
4.3 INDUSTRIAS QUE PODRÍAN USAR LOS LAMINARANOS 59

5. CONCLUSIONES 61

6. RECOMENDACIONES 62

BIBLIOGRAFÍA 63

## LISTADO DE FIGURAS

**pág.**

**Figura 1.** Ejemplos de micro y macroalgas verdes (Chlorophyta) 20
**Figura 2.** Ejemplos de algunas micro y macroalgas rojas marinas (Rhodophyta) 21
**Figura 3**. Ejemplos de algunas macroalgas pardas (Phaeophyta) 21
**Figura 4.** Producción mundial de algas (2011-2015) 22
**Figura 5.** Ejemplo de un cultivo de algas usadas como alimento para el cultivo de moluscos 23
**Figura 6.** Diferenciación morfológica de las algas pardas 25
**Figura 7**. Cobertura del sargazo (expresado como porcentaje) en la superficie del Mar Caribe y Golfo de México a través de imágenes satelitales de MODIS, meses de julio de 2011 a 2019 26
**Figura 8.** Arribazones de sargazo en la línea de costa en Playa del Carmen (México) 27
**Figura 9.** Monómeros constituyentes de los alginatos, ácido manurónico y glulurónico 29
**Figura 10**. Estructura de los alginatos. Variaciones estructurales en el polímero dependiendo de la secuencia adoptada por los monómeros 29
**Figura 11.** Cadenas M de laminaranos de algas pardas 32
**Figura 12.** Cadenas G de laminaranos de algas pardas 32
**Figura 13.** Origen y rutas de la contaminación hídrica y del agua de mar 37
**Figura 14.** Mecanismo de biosorción de metales por algas del género Sargassum hecho a través de sitios de unión (grupos hidroxilo, carboxilo, sulfato) de las superficies de la pared celular. Las frondas son del alga Sargassum maximilianii 38
**Figura 15.** Aplicaciones de la biomasa algal para la producción de biocombustibles 40
**Figura 16.** Proceso de adecuación de los materiales para la elaboración de calzado a base de sargazo 47
**Figura 17.** Proceso de obtención del fucoidan a partir de algas pardas 49
**Figura 18.** Etapas del proceso de extracción y purificación de los alginatos de sodio a partir de algas pardas 52
**Figura 19.** Propiedades bioactivas del polisacárido sulfatado fucoidan aislado de Sargassum spp 57

## LISTADO DE TABLAS

**pág.**

**Tabla 1.** Variabilidad en la composición de fucoidanos de diferentes algas pardas 31
**Tabla 2.** Composición nutricional aproximada de varias especies del género Sargassum 35
**Tabla 3.** Recuperación de iones de metales pesados utilizando diferentes algas del género Sargassum 38
**Tabla 4.** Pigmentos fotosintéticos en macroalgas: Distribución en los grandes grupos 41
**Tabla 5.** Estructuras de clorofilas, principales carotenoides y ficobilinas presentes en las algas 42

## GLOSARIO

**ADSORCIÓN:** fenómeno físico en donde un compuesto en fase líquida o gaseosa entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a la superficie del mismo, mediante una fuerza física, este proceso no implica intercambio de electrones, lo que lo hace reversible[1].

**AGLUTINANTE:** toda aquella sustancia que tiene la capacidad de aglutinar, es decir, conseguir que distintos elementos queden unidos o pegados entre sí, de modo que resulte un cuerpo compacto[2].

**ANTÍGENO:** cualquier sustancia que haga que un organismo (incluyendo todos los vertebrados) produzca una respuesta inmunitaria contra ella. Los antígenos incluyen toxinas, sustancias químicas, bacterias, virus u otras sustancias de fuera del cuerpo[3].

**ANTROPOGÉNICO:** acciones generadas o relativas a los seres humanos que tiene efectos sobre los ecosistemas y/o la biodiversidad[4].

**ARRIBAZÓN:** es la llegada masiva de peces, invertebrados, algas marinas y/o pastos marinos a las costas en diferentes épocas del año por efectos de la influencia de vientos y corrientes marinas[5].

**BIOSORBENTE:** se refiere a biomasa viva o muerta o bien cualquier tipo de material biológico que tiene afinidad por contaminantes orgánicos e inorgánicos y por ello tienen la capacidad de removerlos de diversos ambientes terrestres y acuáticos.

**CARCINOMA:** tumor maligno que se forma a partir del tejido epitelial de los órganos. Se refiere a tumores que empiezan en tejidos blandos, órganos internos[6].

---

[1] CARBOTECNIA. [sitio web]. ¿Cuál es la diferencia entre absorción y adsorción? Jalisco, México. [consultado el 11 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/

[2] PÉREZ, Julián y GARDEY, Ana. Definición de aglutinar. 2017. [Consultado el 25 de agosto de 2020] Disponible en: https://definicion.de/aglutinar/

[3] INSTITUO NACIONAL DEL CÁNCER. [sitio web]. Antígeno. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/antigeno

[4] ECURED. [sitio web]. Antropogénico. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.ecured.cu/Antropog%C3%A9nico

[5] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. [sitio web]. Arribazón. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://dle.rae.es/arribaz%C3%B3n

[6] INSTITUO NACIONAL DEL CÁNCER. [sitio web]. Carcinoma. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/carcinoma

**ECONOMÍA CIRCULAR:** sistema de aprovechamiento de los recursos donde prima la reducción de los elementos necesarios para producirlos; busca minimizar la producción al mínimo indispensable, y cuando sea necesario hacer uso del producto, apostar por la reutilización de los elementos que por sus propiedades no pueden volver al medio ambiente[7].

**ESCORRENTÍA:** corriente o masa de agua que circula sobre la superficie de la tierra luego de rebasar su depósito o cauce natural o artificial. El término se refiere también a las aguas de origen terrestre que llegan a las cuencas de los ríos y el océano[8].

**EUTROFIZACIÓN:** proceso natural en ecosistemas acuáticos caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes como nitratos y fosfatos, con los consiguientes cambios en la composición de la comunidad de seres vivos, particularmente organismos fotosintéticos[9].

**FEOFITAS (PHAEOPHYTA):** algas pardas. Grupo de algas marinas que incluye las más grandes y con mayor diferenciación. Dominan costas de aguas templadas y frías. Su pared celular está constituida de celulosa y alginatos, como pigmentos fotosintéticos tienen clorofila A y C y el carotenoide fucoxantina, como producto de la fotosíntesis almacenan laminarina y manitol principalmente.

**FICOCOLOIDES:** grupo de biopolímeros derivados de algas marinas, conformados por diferentes tipos de polisacáridos que tienen la propiedad de formar soluciones viscosas o geles. Hidrocoloides derivados de algas[10].

**HIDROCOLOIDE:** grupo grande, heterogéneo, de sustancias poliméricas que incluyen principalmente polisacáridos y algunas proteínas. Los hidrocoloides forman dispersiones microscópicas viscosas o geles al entrar en contacto con el agua, es decir, son hidrofílicos. Atrapan el agua dentro de su estructura ramificada y polimérica[11].

**MACRÓFAGOS:** son células del sistema inmune que actúan en respuesta a una infección o cuando hay acumulación de células dañadas o muertas. Los macrófagos

---

[7] SOSTENIBILIDAD. [sitio web]. ¿En qué consiste la economía circular? [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/

[8] SIGNIFICADOS. [sitio web]. Significado de Escorrentía. [Consultado el 12 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.significados.com/escorrentia/

[9] GREENFACTS. [sitio web]. Eutrofización. [Consultado el 12 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/eutrofizacion.htm

[10] ROSA, Tori. Los ficocoloides en la industria. 2014. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USIL_4216b94a7a474f65bf0c37f5486c0ab5

[11] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDASPARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. La industria de las algas marinas. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: http://www.fao.org/3/y3550s/y3550s04.htm

son células grandes y especializadas que reconocen, fagocitan y destruyen las células objetivo[12].

**MAREJADAS:** oleaje fuerte que se manifiesta en las zonas costeras generalmente, por efecto del viento local, o por un cambio repentino en la presión atmosférica sobre la superficie del océano[13].

**PELÁGICAS:** se refiere a los organismos marinos que viven en aguas abiertas, en zonas alejadas de la costa.

**PLÁNTULA:** término usado para referirse a las primeras etapas de desarrollo de la planta, desde que germina la semilla hasta que adquiere sus primeras hojas verdaderas[14].

**PROSTODONCIA:** especialidad de la odontología que se ocupa de diseñar y fabricar las prótesis dentales, cuyo objetivo es recuperar la correcta funcionalidad y estética de la dentadura que se ha visto alterada como consecuencia de la pérdida de uno o varios dientes[15].

**SARGAZO:** macroalga pelágica de color marrón que se encuentra en la superficie del mar, particularmente en el giro del Atlántico central denominado Mar de los Sargazos.

**SENESCENCIA:** término que se refiere al envejecimiento celular, de los tejidos o de los organismos[16].

---

[12] MANDAL, Ananya. ¿Cuál es un macrófago? En: News Medicinal Life Sciences. [sitio web]. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-a-Macrophage-(Spanish).aspx#:~:text=Los%20macr%C3%B3fagos%20son%20las%20c%C3%A9lulas,destruyen%20las%20c%C3%A9lulas%20de%20objetivo.

[13] ONEMI. [sitio web]. Marejadas. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.onemi.gov.cl/marejadas/

[14] UNAVARRAI. [sitio web]. Morfología de las plántulas. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.unavarra.es/herbario/htm/plantula_BAMH_01.htm

[15] SANITAS. [sitio web]. Prostodoncia. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/salud-dental/prostodoncia.html

[16] INSTITUO NACIONAL DEL CÁNCER. [sitio web]. Senescencia. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/senescencia

## RESUMEN

En este proyecto se hace una descripción sobre las características, propiedades y potenciales usos de las algas pardas de arribazón conocidas como sargazo (*Sargassum* spp.), con un énfasis en sus polisacáridos fucoidanos, alginatos y laminaranos. Lo anterior con base en una recopilación bibliográfica de diferentes estudios realizados con estas algas, a partir de los cuales se hace una síntesis de los usos que se les han dado y a los métodos de extracción más comunes de cada polisacárido. Se incluyen también algunos polisacáridos menos comunes que se utilizan en la industria. Por último, se hace un resumen de algunas industrias donde podrían aplicarse estos polisacáridos según sus características y función.



**Palabras clave:** Algas marinas, fucoidan/fucoidano, Polisacáridos sulfatados, *Sargassum.*

## ABSTRACT

This project describes the characteristics, properties and potential uses of sargasso seaweed (*Sargassum* spp.), with an emphasis on its polysaccharides such as fucoidans, alginates and laminarans. Based on a bibliographic compilation of different studies carried out with these algae, a synthesis of the main uses and the most common extraction methods for each polysaccharide is presented. Other less common polysaccharides used in the industry are also included. Finally, a summary of the potential industries where these polysaccharides could be applied according to their characteristics and function, is presented.

**Keywords:** Seaweed, Fucoidan, Sulfated polysaccharides, *Sargassum*.

# INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de las macroalgas marinas es de suma importancia a nivel global. Gran parte de la industria de las macroalgas se basa en la producción de especies comestibles y la obtención de ficoloides como agar, carragenina y alginatos[17]. Los polisacáridos que se encuentran en las algas pardas son los alginatos, los fucoidanos y los laminaranos, éstos tienen una gran importancia comercial debido a su uso en diversas industrias que aprovechan sus propiedades físicas como la capacidad de gelificación, retención de agua y su capacidad para formar emulsiones[18].

Los polisacáridos se constituyen como unos interesantes recursos para la industria farmacéutica y cosmética. Algunos de estos productos han demostrado cualidades antimicrobianas, antivirales y antitumorales, entre otras[19]. Los extractos de algas marinas tienen una considerable capacidad hidratante y propiedades cosméticas, brindando beneficios para la piel humana[20]. De otra parte, los derivados de algas tienen una amplia utilización en la industria alimentaria y en la producción de nutracéuticos y alimentos funcionales[21].

Las algas del género *Sargassum* pueden representar una fuente importante de biomasa, pigmentos y polisacáridos[22]. En Colombia es poco lo que se ha hecho relacionado hacia la valoración de este recurso. Por lo tanto, en este documento teórico se recopilan los datos y estudios realizados con sargazo (*Sargassum* spp.), en particular respecto a los usos que se le ha dado, los procesos de extracción de sus polisacáridos y las industrias donde se manejan o se podrían aprovechar estos polisacáridos, desde una evaluación global al uso de estas algas y sus componentes.

---

[17] SMIT, Albertus J. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review. *Journal of Applied Phycology.* 2004. p. 245. [Consultado el 25 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000047783.36600.ef

[18] Ibíd.

[19] CARVALHO, Loïc G. y PEREIRA, Leonel. Review of marine algae as source of bioactive metabolites: a marine biotechnology approach. En: PEREIRA, Leonel y NETO, João. *Marine algae biodiversity, taxonomy, environmental assessment and biotechnology.* 2014. p. 196. [Consultado el 24 de julio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299344826

[20] Ibíd.

[21] GANESAN, Abirami R.; TIWARI, Uma y RAJAURIA, Gaurav. Seaweed nutraceuticals and their therapeutic role in disease prevention. *Food Science and Human Wellness.* 2019, vol. 8, nro. 3. p. 252. [Consultado el 26 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.001

[22] MILLEDGE, J.J. y HARVEY, P. Golden Tides: Problem or Golden Opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering.* 2016. p. 1-19. [Consultado el 09 de agosto] Disponible en: https://doi.org/10.3390/jmse4030060

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial del uso de las algas de arribazón conocidas como sargazo (*Sargassum* spp.).

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los usos que se le ha dado al sargazo (*Sargassum* spp.).

- Determinar los procesos unitarios para el aprovechamiento de polisacáridos provenientes del sargazo (*Sargassum* spp.).

- Evaluar las industrias que podrían beneficiarse con el sargazo (*Sargassum* spp.) específicamente al uso de sus polisacáridos.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 ALGAS

Las algas marinas son organismos fotoautotrófos uni o multicelulares, que además de ser productores marinos, desempeñan un papel importante en la estructuración y mantenimiento de los ecosistemas marinos[23]. Las microalgas son las principales productoras primarias en el océano; utilizan la luz solar para capturar dióxido de carbono y producir azúcares a través de la fotosíntesis, forman la base de la red alimentaria en el océano junto con otras categorías del fitoplancton (microalgas)[24].

Según su tamaño, las algas se clasifican en dos grupos, microalgas (que es una categoría artificial que agrupa a organismos fotosintéticos microscópicos) y macroalgas (que son las grandes algas, que asemejan "plantas"). Según sus pigmentos y formas de almacenar los productos derivados de la fotosíntesis, las macroalgas se dividen en tres grandes grupos, algas verdes (Chlorophyta) (Figura 1), algas rojas (Rhodophyta) (Figura 2) y algas pardas (Phaeophyta) (Figura 3). Estos grupos además de los pigmentos y sustancias de reserva presentan diferencias importantes en la estructura de la pared celular y el tipo de movilidad de gametos y esporas[25].

**Figura 1.** Ejemplos de micro y macroalgas verdes (Chlorophyta)

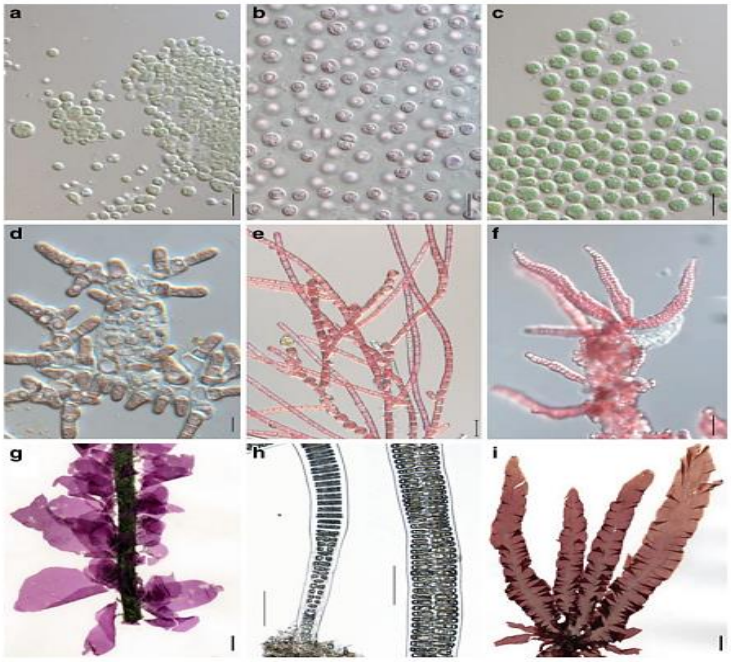
**Fuente:** LELIAERT, Frederik, *et al.* Phylogeny and molecular evolution of the green algae. En: *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2012. p. 5. ISSN 0735-2689. [Consultado el 24 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/215888466

[23]CARVALHO, Loïc G. y PEREIRA, Leonel. Review of marine algae as source of bioactive metabolites: a marine biotechnology approach. En: PEREIRA, Leonel y NETO, João. *Marine algae biodiversity, taxonomy, environmental assessment and biotechnology.* 2014. p. 195 – 227. [Consultado el 24 de julio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299344826

[24] MAINE SEAWEED COUNCIL. [sitio web]. Maine. [Consultado el 23 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.seaweedcouncil.org/what-is-seaweed/

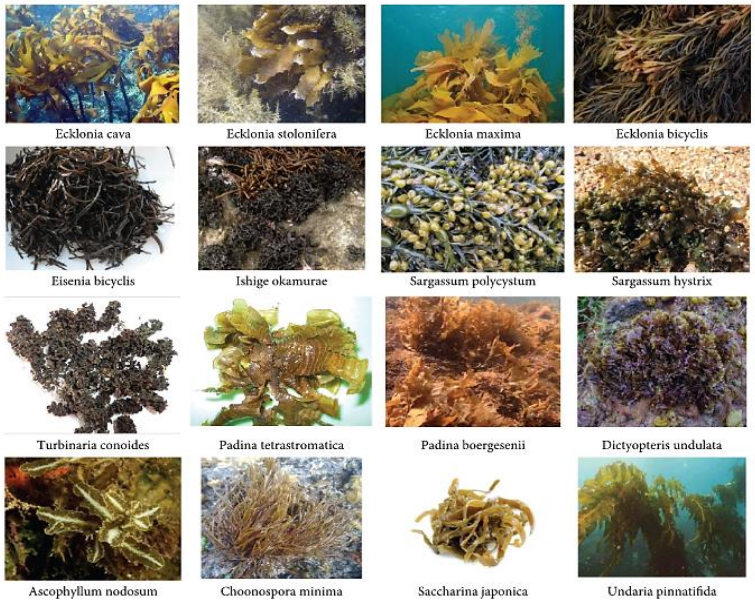
[25] RENDÓN CASTRILLÓN, Leidy; RAMÍREZ CARMONA, Margarita E. y VÉLEZ SALAZAR, Yesid. Microalgas para la industria alimenticia. Primera edición. Medellín (Colombia): Universidad Pontificia Bolivariana, 2013. p. 13-14

**Figura 2.** Ejemplos de algunas micro y macroalgas rojas marinas (Rhodophyta)




**Fuente:** H.S. Yoon, *et al.* Rhodophyta. En: J.M. Archibald et al (eds.), Handbook of the Protist. Suiza, 2016. p. 4. [Consultado el 24 de julio de 2020].Disponible en: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-32669-6_33-1.pdf

**Figura 3**. Ejemplos de algunas macroalgas pardas (Phaeophyta)

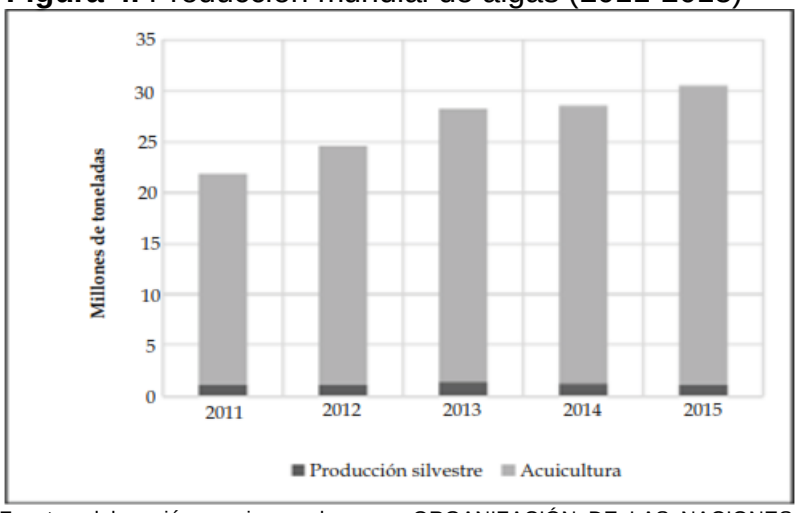



**Fuente:** GUNATHILAKA, Thilina L, *et al.* Antidiabetic potential of Marine Brown Algae – a mini review. *Journal of Diabetes Research.* 2020. [Consultado el 24 de julio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1155/2020/1230218

Las macroalgas se fijan a una superficie firme y pueden crecer en abundancia en zonas intermareales y submareales, a una profundidad de hasta 268 m, según la penetración de la luz solar. También crecen sobre rocas que se encuentran en agua dulce estancada o corriente y, en algunos casos pueden desprenderse y flotar[26].

La producción mundial de algas procede de dos fuentes, la recolección de poblaciones silvestres y de la acuicultura[27]. En la Figura 4 se incluye la producción mundial de algas entre 2011 y 2015, en la que se muestra que las cosechas silvestres se han mantenido relativamente constantes, mientras que las algas cultivadas tienen una mayor participación dentro de la producción mundial y han tenido un marcado incremento en comparación con las cosechas del medio.

**Figura 4.** Producción mundial de algas (2011-2015)




Fuente: elaboración propia con base en ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDASPARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. Roma: FAO. The global status of seaweed production, trade and utilization. 2018, vol. 124. [Consultado el 25 de julio de 2020] Disponible en: http://www.fao.org/inaction/globefish/publications/details-publication/en/c/1154074/

Un problema importante con el uso de las algas recolectadas del medio es la posibilidad de contaminación por metales pesados como el arsénico y el mercurio ya que las algas absorben muy bien los diferentes tipos de sustancias del medio. Por ello, la comercialización de estas algas puede verse limitada. Por otro lado, una de las grandes ventajas de los cultivos de algas (Figura 5) es el hecho de que no requieren de un suministro de alimento, cuyo costo y disponibilidad a menudo son factores limitantes en el cultivo de peces y otras especies acuáticas[28].

[26] Ibíd. p. 14.
[27] UNITED NATIONS. Seaweeds. En: The first global integrated marine assessment (World ocean assessment I). 2016 [Consultado el 25 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RPROC/Chapter_14.pdf
[28] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. Roma: FAO, The global status of seaweed production, trade and utilization. 2018, vol. 124. p. 11-12. [Consultado el 25 de julio de 2020] Disponible en: http://www.fao.org/in-action/globefish/publications/details-publication/en/c/1154074/

**Figura 5.** Ejemplo de un cultivo de algas usadas como alimento para el cultivo de moluscos

Fuente: BOLTON. John. J., *et al.* [en línea]. Integrated systems incorporate seaweed in South African abalone culture. 2006. [Consultado el 25 de julio de 2020] Disponible en: https://www.aquaculturealliance.org/advocate/integrated-systems-incorporate-seaweed-in-south-african-abalone-culture/

Hoy en día la industria mundial de las algas tiene un valor de más de USD $6.000 millones anuales, de los cuales 85% incluye productos alimenticios para el consumo humano. Los extractos derivados de las algas marinas (carragenina, agar y alginatos) constituyen casi el 40% del mercado de hidrocoloides mundial en términos de alimentos; el resto proviene de ciertos animales, microorganismos y plantas terrestres[29].

La producción de carragenina dependía de las algas recolectadas del medio, especialmente de la denominada "musgo irlandés" *Chondrus crispus*. Hoy en día la mayor parte de las algas marinas usadas en la industria provienen de cultivos. La producción de agar proviene principalmente de dos tipos de algas rojas, *Gelidium* y *Gracilaria.* La producción de alginatos se realiza a partir del procesamiento de algas pardas, las cuales solían cosecharse del medio ya que, el cultivo de algas pardas es costoso para proporcionarlas como materia prima para usos industriales pues este requiere mucho tiempo y mano de obra[30], pero sí se cultivan estadios tempranos de estas algas para después ponerlas a crecer en el medio y poder garantizar una cosecha apropiada.

La explotación comercial de los productos extraídos de algas marinas es escasa dejando de lado la industria de los ficocoloides. Sin embargo, en los últimos años, investigadores y empresas farmacéuticas tienen un gran interés en los organismos

[29] Ibíd., p. 9–10.
[30] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. Roma: FAO, A guide to the seaweed industry. 2003. [Consultado el 25 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-y4765e.pdf

marinos (incluidas las algas), en su búsqueda de nuevos fármacos derivados o inspirados productos naturales marinos[31].

Los productos bioactivos de algas marinas incluyen polisacáridos, pigmentos y ácidos grasos que podrían contribuir potencialmente al desarrollo de alimentos funcionales y nutraceúticos[32].

Las algas contribuyen en gran medida a la nutrición humana debido a su compleja composición de macronutrientes como calcio, magnesio, potasio, cloro, azufre y fósforo así como micronutrientes como yodo, hierro, zinc, cobre, selenio, molibdeno, fluoruro, manganeso, boro, níquel y cobalto y también vitaminas como B12, A y K[33].

## 1.2 SARGAZO

El sargazo es una macroalga marina parda del género *Sargassum.* Las especies pelágicas son *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*[34]. En la Figura 6 se observa que las algas pardas, si bien carecen de tejidos verdaderos, tienen una diferenciación de rizoides, estipes y láminas, análogas a las raíces, tallos y hojas de las plantas vasculares[35].

Las masas flotantes de sargazo sirven como hábitat para muchas especies marinas, ya que proporcionan alimento, protección y refugio a peces, camarones, cangrejos y tortugas[36]. Muchas de las especies que se esconden en las masas de sargazo tienen una coloración parduzca, similar a la de los sargazos, para camuflarse[37].

[31] SMIT, Albertus J. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review. *Journal of Applied Phycology.* 2004. p. 245-262. [Consultado el 25 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000047783.36600.ef

[32] GANESAN, Abirami R.; TIWARI, Uma y RAJAURIA, Gaurav. Seaweed nutraceuticals and their therapeutic role in disease prevention. *Food Science and Human Wellness.* 2019, vol. 8, nro. 3. p. 252-263. [Consultado el 26 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.001

[33] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. The global status of seaweed production, trade and utilization. Op. cit. p. 9.

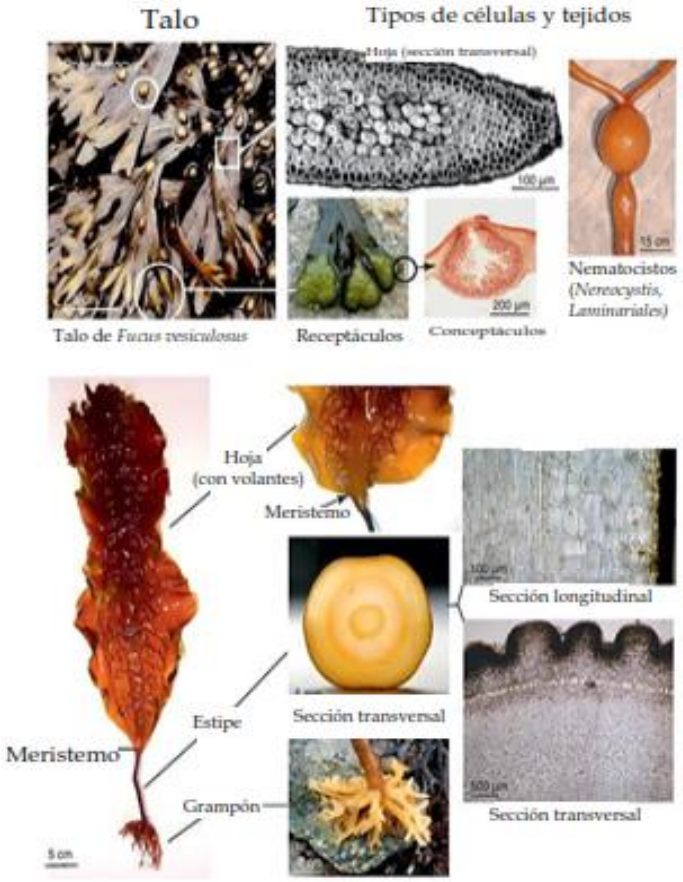
[34] SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. [sitio web]. Gobierno de México, ¿Sabes qué es el sargazo? [Consultado el 14 de abril de 2020] Disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sabes-que-es-el-sargazo?idiom=es

[35] NOVILLO, Cristina. Qué es el sargazo. En: Ecología verde. [sitio web]. [Consultado el 14 de abril de 2020]. Disponible en: https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-sargazo-2001.html

[36] Op. cit.

[37] NAVARRO, Sandra; ROS, Joandoménec y TEIXIDOR; Irene. Un mundo flotante: los sargazos. En: INVESTIGACIÓN Y CIENCIA. [sitio web], [Consultado el 14 de abril de 2020]. Disponible en: https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/siete-soluciones-energticas-innovadoras-530/un-mundo-flotante-los-sargazos-8977

**Figura 6.** Diferenciación morfológica de las algas pardas




Fuente: elaboración propia con base en CHARRIER, Bénédicte; BAIL, Aude Le y REVIERS, Bruno de. Plant proteus: brown algal morphological plasticity and underlying developmental mechanisms. *Trends in Plant Science.*2012, vol. 17, nro. 8. p. 468-477. [Consultado el 14 de julio de 2020] Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.03.003

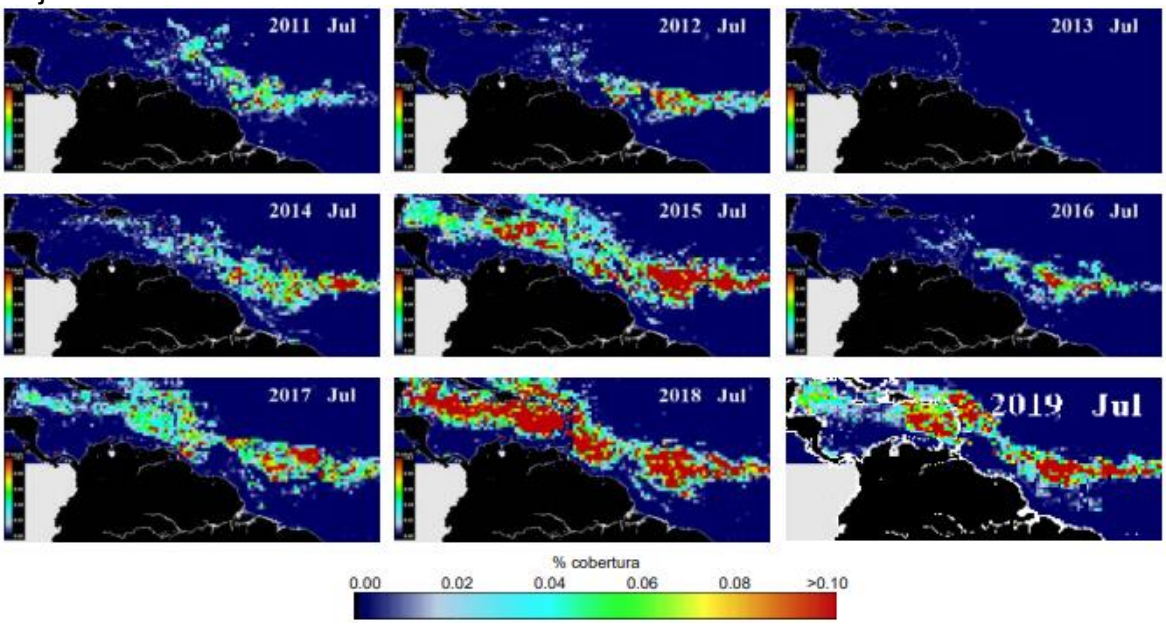
El Mar de los Sargazos corresponde a una acumulación de las algas pelágicas del género *Sargassum* en el Atlántico Central como resultado del giro oceánico que se forma en la zona. Sin embargo, en años recientes se ha notado que el rango de extensión del sargazo es mayor por lo cual ahora se habla del "Cinturón de *Sargassum*" que se extiende desde las costas del Oeste de África hasta el Mar Caribe y el Golfo de México[38].

**1.2.1 Cinturón de *Sargassum*.** A través del análisis de imágenes satelitales de MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) entre 2000 y 2018, académicos de la Universidad de Florida descubrieron una rápida y enorme floración de sargazo desde 2011. Esta se denominó "Gran Cinturón de Sargazo del

[38] ROBLEDO, Daniel; VÁZQUEZ-DELFÍN, Erika. Sargazo, conociendo al "enemigo". En: Gobierno de México [sitio web]. [Consultado el 15 de abril de 2020] Disponible en: https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/sargazo-conociendo-al-enemigo/

Atlántico". En el verano de 2018, esta masa formó un cinturón de 8.860 km de extensión con una biomasa estimada de aproximadamente 20 millones de toneladas que se extendía desde África Occidental, atravesando el Océano Atlántico Central por el Mar Caribe hasta el Golfo de México[39] (Figura 7).

**Figura 7**. Cobertura del sargazo (expresado como porcentaje) en la superficie del Mar Caribe y Golfo de México a través de imágenes satelitales de MODIS, meses de julio de 2011 a 2019




Fuente: ESPINOSA, Luis Antonio y LI, Juan José. El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México. *BBVA Research.* 2020, nro. 20/02. [Consultado el 21 de junio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2020/02/Riesgo_Sargazo_Big_Data.pdf

En la Figura 7 se puede observar cómo a lo largo de los años la proliferación de estas algas se ha incrementado de manera acelerada. Cuando se empezaron a realizar las imágenes satelitales de MODIS, el porcentaje de cobertura era muy bajo y su elongación era muy corta, pero debido a diversos factores, explicados más adelante, este valor se ha incrementado, llegando a tener un porcentaje de cobertura muy alto en toda la zona que lo compone y además se aprecia que la presencia de estas algas es mayor que en años pasados.

Actualmente toneladas de estas algas pueden ser depositadas en las playas, durante los eventos de arribazones masivas. Dichas arribazones son fenómenos naturales que ocurren estacionalmente y que se deben tanto a factores biológicos

[39] ESPINOSA, Luis Antonio y LI, Juan José. El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México. *BBVA Research.* 2020, nro. 20/02. [Consultado el 21 de junio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2020/02/Riesgo_Sargazo_Big_Data.pdf

(ciclos de vida, reproducción y senescencia; crecimiento, elongación y aumento de biomasa), como a los efectos ambientales por fenómenos climatológicos (tormentas, corrientes, marejadas y/o vientos)[40].

La magnitud y frecuencia de las arribazones masivas de sargazo podría tener su origen en el impacto de las transformaciones humanas en el entorno cercano a la costa, desde la eutrofización provocada por las escorrentías de los ríos Amazonas, Orinoco, Magdalena y Congo que desembocan en el océano e introducen grandes cantidades de nutrientes como producto de la deforestación y/o uso excesivo de fertilizantes en la agricultura, así como por posibles cambios en la circulación de las corrientes superficiales marinas provocadas por el incremento en la temperatura superficial del océano, o bien por el efecto combinado de ambos procesos[41].

A las floraciones de *Sargassum* pelágico también se les denomina en la actualidad como “mareas doradas”. Por acción de los vientos, una importante porción de estas floraciones termina en la costa generando arribazones masivas de sargazo[42] (Figura 8).

**Figura 8.** Arribazones de sargazo en la línea de costa en Playa del Carmen (México)

Fuente: RUIZ, Víctor. El sargazo en Playa del Carmen, en mayo de 2019. [Fotografía] The New York Times. 2019. [Consultado el 26 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.nytimes.com/es/2019/08/16/espanol/america-latina/sargazo-playas-mexico.html

Entre los efectos adversos que genera la gran biomasa algal que termina en la costa, se destacan la erosión de playas, la disminución en la cobertura de

[40] Op. cit.
[41] Ibíd.
[42] Ibíd.

comunidades de pastos marinos, la contaminación de playas debido a la descomposición *in situ* del material algal, la contaminación de mantos freáticos por lixiviados debido a malas prácticas relacionadas con los sitios de disposición final del alga y afectaciones al sector turístico y las comunidades aledañas[43].

## 1.3 COMPONENTES DE ALGAS PARDAS Y PROPIEDADES

Las algas pardas producen diferentes polisacáridos tales como alginatos, laminaranos y fucoidanos. Estos últimos generalmente contienen grandes proporciones de L-fucosa y grupos ésteres, junto con pequeñas cantidades de otros azúcares como xilosa, manosa y ácido glucurónico[44].

**1.3.1 Alginatos.** Los alginatos se extraen de las algas pardas y están disponibles en forma ácida y salina. La forma ácida es un ácido poliurónico lineal y se conoce como ácido algínico, mientras que la forma salina es un componente importante de la pared celular en todas las algas pardas[45].

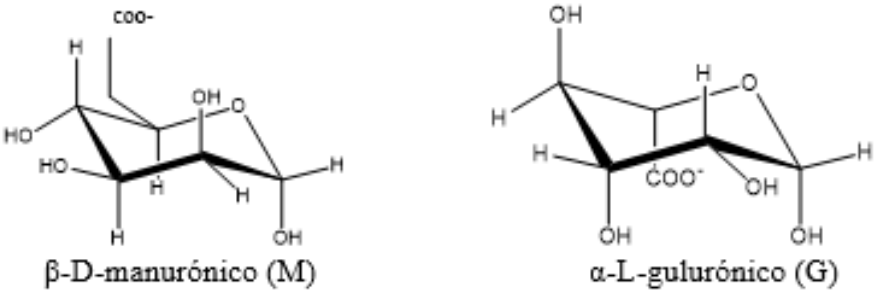
Los alginatos son sales del ácido algínico que forman parte de la pared celular y de las regiones intercelulares de las algas pardas. En su estado natural, se encuentran formando geles con iones $Ca^{+2}$, $Na^{+}$, $Mg^{+2}$, $Sr^{+2}$ y $Ba^{+2}$. Su función es conferir fuerza y flexibilidad al alga[46].

Los alginatos son polímeros lineales, y están formados por unidades de los ácidos β-D-manurónico (M), α-L-gulurónico (G) y un tercer segmento de diadas con ambos ácidos alternados (MM, GG, MG)[47] (Figuras 9 y 10). Los alginatos no tienen unidades regulares repetitivas, por lo cual no basta conocer la composición monomérica para describir su estructura secuencial[48]. También, dependiendo del predominio de un monómero sobre otros, variará la fuerza de gel del alginato una vez esté preparado.

---

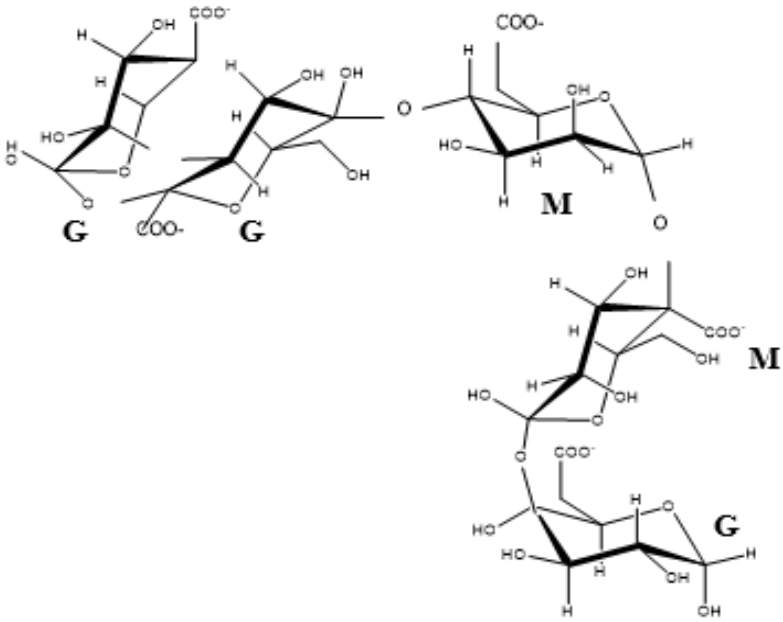
[43] Ibíd.
[44] PONCE, Nora, *et al.* Fucoidans from the brown seaweed *Adenocystis utricularis:* extraction methods, antiviral activity and structural studies. *Carbohydrate Research.* 2003, vol. 338, nro. 2, p. 153-165. [Consultado el 27 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/S0008-6215(02)00403-2
[45] HOLDT, Susan y KRAAN, Stefan. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology.* 2011, vol. 23, p.5. [Consultado el 23 de junio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227220444_Bioactive_compounds_in_seaweed_Functional_food_applications_and_legislation
[46] HERNÁNDEZ-CARMONA, Gustavo; *et al*. Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México. *Ingeniería, investigación y tecnología.* 2012, vol. 13, nro. 2, p. 155-168. [Consultado el 22 de junio de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000200003
[47] Ibíd
[48] AYARZA, Jorge. Los alginatos: 2000 usos de las algas submarinas. *Revista de Química PUCP*. 2014, vol. 28, nro. 1-2, p. 19-23. ISSN 1012-3946. [Consultado el 23 de junio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download/10413/10863/

**Figura 9.** Monómeros constituyentes de los alginatos, ácido manurónico y glulurónico




Fuente: elaboración propia.

**Figura 10**. Estructura de los alginatos. Variaciones estructurales en el polímero dependiendo de la secuencia adoptada por los monómeros




Fuente: elaboración propia.

**1.3.2 Fucoidanos.** Los fucoidanos son un tipo de polisacáridos que están contenidos en la matriz extracelular (MEC) de las paredes celulares de las algas pardas. Su composición química es extremadamente variable dependiendo de los parámetros ecofisiológicos, así hay estudios donde han reportado una composición

aproximada de 50% a 90% de L-fucosa, 35% a 45% de sulfatos y menos del 8% de ácido urónico[49].

Son constituyentes de las algas pardas y de algunos invertebrados marinos (como los erizos y los pepinos de mar). Estos polisacáridos se aislaron originalmente a partir de algas pardas del orden Fucales (Phaeophyceae). Actualmente se le denomina “fucoidan” según las reglas de la IUPAC, pero algunos autores también lo llaman fucano, fucosano o fucano sulfatado[50].

Las estructuras poliméricas de carbohidratos usualmente están compuestas de varios monosacáridos unidos con diferentes enlaces glucosídicos. Dependiendo de la estructura, los polisacáridos pueden tener propiedades funcionales distintas de sus componentes básicos. La fucosa es un azúcar desoxi hexosa con la formula química $C_6H_{12}O_5$ y es la sub unidad fundamental del polisacárido fucoidan[51].

Debido a la gran heterogeneidad natural de los fucanos, cada vez que se extraen a partir de cualquier alga cada uno de éstos es descrito como un compuesto único con características estructurales únicas. La composición de los fucanos de algas varía según las especies, el procedimiento de extracción, la temporada de cosecha y las condiciones climáticas locales.[52]

Los fucoidanos se consideran como moléculas de refuerzo de la pared celular y parece estar asociado con la protección contra los efectos de la desecación cuando las algas quedan expuestas al bajar la marea[53]. También están implicados en la regulación iónica y osmótica de las algas que los producen[54]. Los fucoidanos pueden representar más del 40% del peso seco de las paredes celulares de las algas y pueden extraerse fácilmente con agua caliente o con una solución ácida. Son compuestos viscosos en concentraciones muy bajas y susceptibles a descomposición por ácidos y bases diluidos[55].

---

[49] LAURIENZO, Paola. Marine Polysaccharides. Vol. 2. Italia: Marine Drugs, 2018. 290 p. [Consultado el 23 de junio de 2020] Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.3390/books978-3-03842-900-5

[50] LI, Bo; *et al.* Fucoidan: structure and bioactivity. *Molecules.* 2008. p. 1-2. ISSN 1420-3049. [Consultado el 28 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.mdpi.com/1420-3049/13/8/1671/html

[51] WIJESINGHE, W. A.J.P y JEON, You-Jin. Biological activities and potential industrial applications of fucose rich sulfated polysaccharides and fucoidans isolated from brown seaweeds: A review. *Carbohydrate polymers.* 2012, vol. 88, nro. 1, p. 2. [Consultado el 28 de julio de 2020] Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.12.029

[52] SILVA, T.M.A.; *et al*. Partial characterization and anticoagulant activity of a heterofucan from the brown seaweed *Padina gymnnospora*. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2005, vol. 38, nro. 4. P 523-533. [Consultado el 28 de julio de 2020] Disponible en: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-879X2005000400005

[53] HOLDT, Susan y KRAAN, Stefan. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology.* 2011, vol. 23, p.3. [Consultado el 23 de junio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227220444_Bioactive_compounds_in_seaweed_Functional_food_applications_and_legislation

[54] LAURIENZO, Paola. Marine Polysaccharides. Vol. 2. Italia: Marine Drugs, 2018. 290 p. [Consultado el 23 de junio de 2020] Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.3390/books978-3-03842-900-5

[55] Op. cit.

En la Tabla 1 se presenta la composición de fucoidanos aislados de diferentes algas pardas.

**Tabla 1.** Variabilidad en la composición de fucoidanos de diferentes algas pardas

| Algas pardas | Composición química |
|---|---|
| *Fucus vesiculosus* | fucosa, sulfato |
| *F. evanescens* | fucosa/sulfato/acetato |
| *F. distichus* | fucosa/sulfato/acetato |
| *F. serratus* | fucosa/sulfato/acetato |
| *Lessonia vadosa* | fucosa/sulfato |
| *Macrocystis pyrifera* | fucosa/galactosa |
| *Pelvetia wrightii* | fucosa/galactosa |
| *Undaria pinnatifida* | fucosa/galactosa |
| *Ascophyllum nodosum* | fucosa, xilosa, ácido glucurónico, sulfato |
| *Himanthalia lorea y Bifurcaria bifurcata* | fucosa, xilosa, ácido glucurónico, sulfato |
| *Padina pavonica* | fucosa, xilosa, manosa, glucosa, galactosa, sulfato |
| *Laminaria angustata* | fucosa/galactosa/sulfato |
| *Ecklonia kurome* | fucosa, galactosa, manosa, xilosa, ácido glucurónico, sulfato |
| *Sargassum stenophyllum* | fucosa, galactosa, manosa, ácido glucurónico, glucosa, xilosa, sulfato |
| *Adenocystis utricularis* | fucosa, galactosa, manosa, sulfato |
| *Hizikia fusiforme* | fucosa, galactosa, manosa, xilosa, ácido glucurónico, sulfato |
| *Dictyota menstrualis* | fucosa/xilosa/ácido urónico/galactosa/sulfato |
| *Spatoglossum schroederi* | fucosa/xilosa/galactosa/sulfato |

Fuente: elaboración propia con base en: LI, Bo; *et al.* Fucoidan: structure and bioactivity. *Molecules.* 2008. p. 1-2. ISSN 1420-3049. [Consultado el 20 de octubre de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.mdpi.com/1420-3049/13/8/1671/html

**1.3.3 Laminaranos.** La laminarina, también llamada laminaran, es un componente activo que se extrae y aísla del talo seco de las algas pardas[56]. La laminarina se encuentra en las frondas de *Laminaria* y *Saccharina,* y en menor medida, en las especies *Ascophyllum, Fucus* y *Undaria*[57]*.* La laminarina consiste en β-(1-3)-glucano con enlaces β-(1-6) de 20-25 unidades[58].

Existen dos tipos de cadenas de laminaranos dependiendo de su extremo reductor, las cadenas M y G. Las cadenas M terminan con 1-O sustituido por D-manitol, mientras que las cadenas G terminan con glucosa como extremo reductor[59] (Figura 11 y 12).

Existen formas de laminarina solubles e insolubles en agua, que dependen principalmente del nivel de ramificación. Se han empleado diferentes enfoques para extraer laminarina, estos procesos implican molienda, precipitación en un medio

[56] DÉLERIS, P; NAZIH, J. y BARD, J. -M. *Chapter 10 – Seaweeds in Human Health.* En: FLEURENCE, Joël y LEVINE, Ira. Seaweed in health and disease prevention. Francia: Academic press, 2016. p. 328. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00010-5

[57] KADAM, Shekhar U; *et al. Chapter 9 – Extraction of biomolecules from seaweeds.* En: Seaweed Sustainability. 2015. p. 249. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00009-X

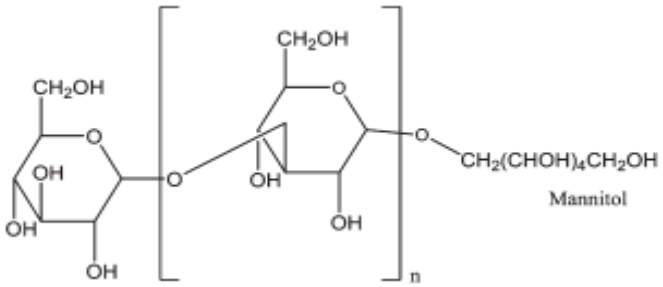
[58] Op. cit.

[59] KADAM, Shekhar U; TIWARI, Brijesh y O`DONNELL, Colm. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from Brown algae. *International Journal of Food Science and Technology.* 2015. p. 25. [Consultado el 27 de agosto de 2020]. Disponible en: **https://doi.org/10.1111/ijfs.12692**

ácido o alcalino, ultrafiltración y diálisis. Los ácidos empleados comúnmente son el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico a una concentración de 0.1 M[60].

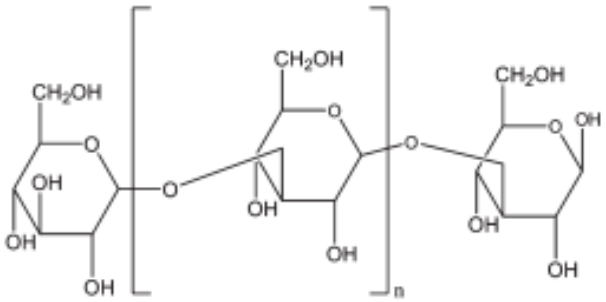
El contenido de laminarina en las algas varía estacionalmente y con el hábitat y puede alcanzar hasta el 32% del peso seco[61].

**Figura 11.** Cadenas M de laminaranos de algas pardas




Fuente: KADAM, Shekhar U; TIWARI, Brijesh y O`DONNELL, Colm. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from Brown algae. *International Journal of Food Science and Technology.* 2015. p. 25. [Consultado el 27 de agosto de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1111/ijfs.12692

**Figura 12.** Cadenas G de laminaranos de algas pardas




Fuente: KADAM, Shekhar U; TIWARI, Brijesh y O`DONNELL, Colm. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from Brown algae. *International Journal of Food Science and Technology.* 2015. p. 25. [Consultado el 27 de agosto de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1111/ijfs.12692

[60] Op. cit.
[61]HOLDT, Susan y KRAAN, Stefan. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology.* 2011, vol. 23, p.3. [Consultado el 23 de junio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227220444_Bioactive_compounds_in_seaweed_Functional_food_applications_and_legislation

# 2. USOS DEL SARGAZO (*Sargassum* spp.)

## 2.1 FERTILIZANTES

El valor de las algas marinas como fertilizante agrícola fue reconocido desde el siglo IV como un sustituto parcial del estiércol de animales. Los fertilizantes provenientes de algas marinas a menudo tienen mejor desempeño que los fertilizantes químicos[62]. El sargazo es un alga rica en nutrientes, minerales, polisacáridos hidrosolubles y compuestos fenólicos que colectivamente mejoran la salud, calidad, productividad y actividades enzimáticas del suelo[63].

La agricultura y la horticultura en las zonas templadas usan con frecuencia como fertilizantes los productos de algas pardas tales como *Ascophyllum nodosum, Ecklonia maxima* y *Fucus vesiculosus.* Especies de los géneros *Laminaria* y *Sargassum* se emplean con menor frecuencia[64].

Antiguamente se quemaban algas recolectadas en la zona intermareal y esas cenizas se mezclaban con la turba para proveer al suelo de minerales. Por razones de transporte, el uso de algas directamente como fertilizante se limita a las zonas costeras o próximas a ellas[65]. Los fertilizantes a base de algas se pueden encontrar de tres formas: 1) harinas (algas secas y molidas en un polvo grueso) usadas en grandes volúmenes para suplementar suelos o para mezclar en medios definidos, en los invernaderos, 2) como polvos y 3) como extractos líquidos y concentrados empleados para enraizar, remojar suelos y como aspersores foliares[66].

La harina de algas (algas secas y pulverizadas) toma meses para ser completamente efectiva en el suelo ya que la biomasa debe ser descompuesta por acción microbiana para liberar los nutrientes y que éstos puedan ser utilizados por la planta. Por su parte, los extractos líquidos obtenidos de algas marinas contienen polisacáridos, que una vez descompuestos, son asimilados de manera muy rápida en el suelo[67].

---

[62] ASHOK-KUMAR, N, *et al*. Effect of liquid seaweed fertilizer of Sargassum *wightii grev*. On the growth and biochemical content of green gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Recent Research in Science and Technology.* 2012, vol.4, p. 1. ISSN 2076-5061 [consultado el 28 de julio de 2020] Disponible en: http://recent-science.com/

[63] THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

[64] BULA-MEYER, Germán. Las macroalgas marinas en la agronomía y el uso potencial del Sargassum flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de San Andrés y Providencia, Colombia*. Intropica.* 2004, vol. 1, p. 1. ISSN 1794-161X. [Consultado el 29 de julio de 2020] Disponible en: https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/461/439

[65] Ibíd.

[66] Ibíd.

[67] ASHOK-KUMAR, N, *et al*. Effect of liquid seaweed fertilizer of Sargassum *wightii grev*. On the growth and biochemical content of green gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Recent Research in Science and Technology.* 2012, vol.4, p. 1. ISSN 2076-5061 [consultado el 28 de julio de 2020] Disponible en: http://recent-science.com/

La utilización de sargazo sin lavar como fertilizante ha mostrado ser más efectivo para aumentar el crecimiento y el desarrollo general de las plantas. Los menores requerimientos de procesamiento o lavado hacen que la aplicación directa del sargazo al suelo sea un fertilizante económico. Sin embargo, hay que controlar la salinidad de este material, ya que puede crear estrés osmótico que obstruye la absorción de agua de las plántulas y la productividad de los cultivos[68].

En todos los casos estudiados, la adición de este fertilizante orgánico aumentó la capacidad de retención de agua y el crecimiento de las plantas, por lo que el fertilizante resolvió simultáneamente los problemas de contaminación ambiental (por uso de fertilizantes químicos) y produjo un fertilizante orgánico útil. El sargazo se puede vender como aditivo del suelo y funciona como fertilizante así como acondicionador de suelos[69].

## 2.2 PRODUCTOS ALIMENTICIOS

Muchas algas pardas son comestibles y se consumen en Asia y Europa como una alternativa natural y saludable a los alimentos tradicionales. Estas algas ricas en nutrientes se pueden consumir crudas o agregarse a los productos alimenticios para mejorar su composición nutricional, vida útil y propiedades saludables[70]. Varias sociedades de todo el mundo han utilizado las algas como alimento como las algas rojas Laver (*Porphyra* spp.) en Gales, Dillisk en Irlanda o Dulse en Escocia (*Palmaria palmata)*, Limu (*Asparagopsis* spp.) en Hawái, Nori (*Porphyra/Pyropia* spp.) en Japón. Por su parte, hay una larga historia de consumo de algas pardas en Asia como el Kombu (*Laminaria/Saccharina)* y el Wakame (*Undaria pinnatifida)*. La recolecta de algas en el medio y el cultivo de éstas es una actividad acuícula muy importante en muchos países de Asia. En el Reino Unido, la explotación de algas silvestres como alimento se usa para obtener ingredientes y comidas gourmet de mayor valor[71].

Las algas son ricas en fibra soluble e insoluble y se ingieren crudas o se agregan a preparaciones diversas. La fibra insoluble ayuda a la digestión y la salud del colon. La fibra soluble puede ayudar a prevenir la formación de la placa aterosclerótica y la incidencia de enfermedades coronarias. Las algas del género *Sargassum* tienen

---

[68] THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

[69] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. Roma: FAO, A guide to the seaweed industry. 2003. [Consultado el 29 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-y4765e.pdf

[70] Op. cit.

[71] MILLEDGE, John, NIELSEN, Brithe y BAILEY, David. High-value products from macroalgae: the potential uses of the invasive brown seaweed, *Sargassum muticum*. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology.* 2015, vol. 15. [Consultado el 25 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282641596_High-Value_Products_from_Macroalgae_The_Potential_Uses_of_the_Invasive_Brown_Seaweed_Sargassum_muticum

más fibra que alimentos integrales tradicionales como el arroz integral y las lentejas[72].

Las algas marinas y sus carbohidratos tienen una aplicación potencial en la fabricación de pan. La incorporación de la harina de alga a la harina de cereales mejora la dinámica estructural y la capacidad de retención de agua de la masa. Además se mejora el contenido nutricional y la firmeza de los productos de pan resultantes[73].

Los altos niveles de cenizas de *Sargassum* reflejan la presencia de grandes cantidades de minerales y vitaminas esenciales, todos componentes importantes de una dieta humana equilibrada[74]. La Tabla 2 muestra la composición nutricional de varias especies del género *Sargassum* en varios lugares del mundo.

**Tabla 2.** Composición nutricional aproximada de varias especies del género *Sargassum*

| Especies | Punto de cosecha | Época de muestreo | Condiciones de secado | Carbohidratos* | Proteína* | Lípidos* | Fibra total* | Ceniza* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *S. vulgare* | Brasil | - | Secado en horno a 50°C | 67.8 | 15.8 | 0.5 | 7.7 | 14.2 |
| *S. hemiphyllum* | Hong Kong | Invierno | Secado al sol por 4 días | - | 10.1 | 3.0 | 62.9 | 19.6 |
| | | | Secado en horno a 60°C | - | 9.8 | 3.4 | 56.8 | 21.5 |
| | | | Liofilizado a 70°C | - | 10.0 | 4.4 | 60.2 | 21.1 |
| *S. polycystum* | Borneo | - | Liofilizado a 20°C | 33.5 | 5.4 | 0.3 | 39.7 | 42.4 |
| *S. platycarpum* | Puerto Rico e Islas Virgenes de EEUU | Primavera | Secado en horno a 75°C | 48.7 | 6.9 | 0.4 | 8.0 | 36.8 |
| *S. rigidulum* | | | | 44.8 | 5.9 | 0.4 | 8.2 | 40.7 |
| *S. lendigerum* | | | | 41.6 | 6.4 | 0.5 | 7.9 | 43.7 |
| *S. mangarevense* | Tahití | Verano | Secado en horno a 60°C | - | 13.2 | 3.4 | 42.8 | 30.6 |
| *S. muticum* | Portugal | Primavera | Secado en horno a 60°C | 49.3 | 16.9 | 1.45 | - | 22.94 |
| *S. polyschides* | | | | 45.6 | 14.4 | 1.1 | - | 28.15 |

*Los valores se expresan como porcentaje (%) peso seco.
Fuente: elaboración propia con base en: THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. [Consultado el 24 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

[72] Ibíd.
[73] Ibíd.
[74] THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

## 2.3 BIORREMEDIACIÓN

La biosorción se refiere a la capacidad de biomasa viva o no viva de algunos organismos, para unir y capturar sustancias de diferente naturaleza de las soluciones acuosas, lo que permite su eliminación pasiva del medio ambiente[75]. La biosorción de metales pesados se está explorando como una alternativa rentable a las tecnologías de biosorción convencionales. Los metales pesados son elementos de alta densidad producidos industrialmente, que son perjudiciales para la salud humana y ambiental cuando se emiten a los diferentes ecosistemas y a la atmósfera[76].

La biomasa de algas marinas ha obtenido el reconocimiento como sorbente en áreas de investigación de biorremediación de agua debido a su capacidad de biosorción en comparación con otros organismos como hongos y otros organismos. Su compleja pared celular rica en fucoidanos, alginatos y un alto contenido de grupos carboxilo está relacionada con su capacidad para absorber metales pesados, radionucleidos y recuperación de elementos tóxicos en especial interés como plata, oro y uranio[77].

La integridad ecológica y la biodiversidad de los ecosistemas marinos se han visto altamente amenazadas debido a la alta concentración de contaminantes generados principalmente por procesos antropogénicos. Debido a la circulación y la dinámica de la materia en el medio ambiente, las emisiones contaminantes con frecuencia terminan los aportes fluviales, desde áreas urbanas y rurales contaminadas cerca de la costa, deposición atmosférica y vertido directo[78] (Figura 13).

La contaminación marina afecta principalmente las zonas costeras porque el tiempo de residencia de los contaminantes en los estuarios de marea es mayor que en los ríos, por lo tanto, la capacidad para diluir las descargas de desechos disminuye y, en consecuencia, se acumulan contaminantes. Se han desarrollado diferentes tecnologías para la recuperación y degradación de contaminantes del medio ambiente acuático[79].

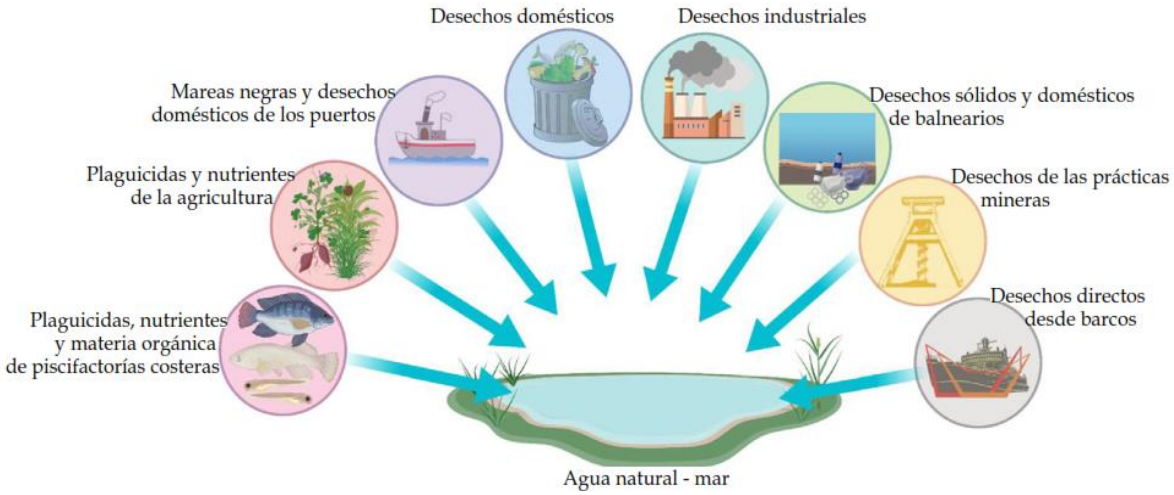
Entre estas tecnologías se encuentran la fotocatálisis, el intercambio iónico, la separación de membranas, la coagulación/floculación, el procesamiento del filtro y otros métodos electroquímicos. Sin embargo, estas tecnologías han presentado limitaciones como precipitación química que conduce a la producción de lodos tóxicos, altos costos y baja eficiencia en la eliminación total de contaminantes. Por

---

[75] SALDARRIAGA-HERNANDEZ, Sara, *et al.* Bioremediation potential of Sargassum sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach. *Science of The Total Environment.* 2020, vol. 715. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136978
[76] Op. cit.
[77] SALDARRIAGA-HERNANDEZ, Sara, *et al.* Op. cit.
[78] Ibíd.
[79] Ibíd.

estas razones, la biosorción representa por su parte, una alternativa de bajo costo, simple y segura para la recuperación de contaminantes[80].

**Figura 13.** Origen y rutas de la contaminación hídrica y del agua de mar



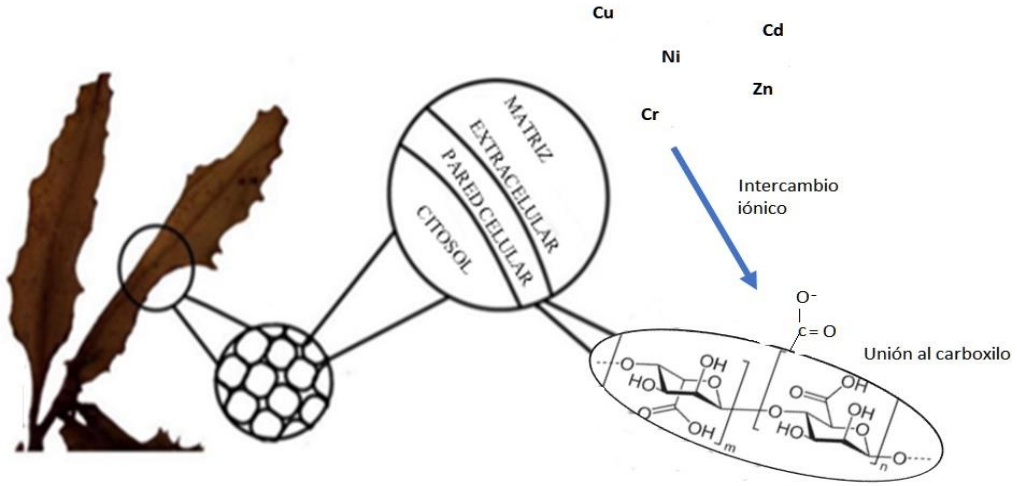

Fuente: elaboración propia con base en: SALDARRIAGA-HERNANDEZ, Sara, *et al.* Bioremediation potential of Sargassum sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach. *Science of The Total Environment.* 2020, vol. 715. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136978

La biosorción en las algas del género *Sargassum* es posible debido a la presencia de sitios de unión creados por diferentes grupos funcionales como grupos hidroxilo, carboxilo, sulfhidrilo, sulfato y amino en la superficie de la pared celular (Figura 14). Estos grupos con cargas negativas permiten sitios de unión iónica, es decir, reacciones de intercambio iónico natural con grupos protonados desde la superficie. La justificación de la mayor capacidad de las algas pardas en comparación con las algas rojas o verdes radica en la presencia de alginatos en las algas pardas[81].

La biosorción con biomasa de algas pardas representa una metodología rentable no solo para la eliminación de sustancias tóxicas sino también se constituye como una tecnología de punta para la recuperación de elementos reciclables de interés industrial de ambientes acuáticos, contribuyendo a cumplir con la sostenibilidad global y los desafíos de la economía circular[82].

[80] Ibíd.
[81] CORAÇÃO, Amanda Cunha de Souza, *et al.* What do we know about the utilization of the *Sargassum* species as biosorbents of trace metals in Brazil? *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2020, vol. 8, nro. 4. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103941
[82] SALDARRIAGA-HERNANDEZ, Sara, *et al.* Bioremediation potential of Sargassum sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach. *Science of The Total Environment.* 2020, vol. 715. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136978

**Figura 14.** Mecanismo de biosorción de metales por algas del género *Sargassum* hecho a través de sitios de unión (grupos hidroxilo, carboxilo, sulfato) de las superficies de la pared celular. Las frondas son del alga *Sargassum maximilianii*




Fuente: elaboración propia con base en CORAÇÃO, Amanda Cunha de Souza, *et al*. What do we know about the utilization of the *Sargassum* species as biosorbents of trace metals in Brazil? *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2020, vol. 8, nro. 4. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103941

La remoción de metales pesados puede verse afectada por el alto contenido de sales asociados a la biomasa de *Sargassum.* Por lo tanto, el contenido de sal en estas algas debe ser monitoreado y mantenido para apoyar su función como material biosorbente. La Tabla 3 muestra una síntesis de las capacidades de adsorción de varias especies del género *Sargassum*[83].

**Tabla 3.** Recuperación de iones de metales pesados utilizando diferentes algas del género *Sargassum*

| Biosorbente | Fuente de metales pesados | Iones metálicos |
|---|---|---|
| *Sargassum* sp. | Soluciones acuosas | $Pb^{2+}$, $Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$ |
| *Sargassum* sp. | Soluciones multimetal sintéticas y aguas pluviales urbanas | $Ni^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Cu^{2+}$, $Pb^{2+}$, $Mn^{2+}$ |
| *S. bevanom* | Aguas residuales industriales | $Cr^{6+}$ |
| *S. natans* | Soluciones industriales | $Au^{+}$ |
| *S. fluitans, S. filipendula, S. vulgare* | Minería de metales y materiales de procesamiento | $Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$ |
| *S. filipendula* | Sistemas binarios | $Zn^{2+}$, $Cd^{2+}$ |
| *S. sinicola* | Aguas residuales salinas | $Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$ |

Fuente: elaboración propia con base en THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. [Consultado el 24 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

[83] THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

## 2.4 BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles se clasifican en tres grandes grupos: Los biocombustibles de primera generación son aquellos de procedencia agrícola y son derivados de la biomasa vegetal, usualmente las mismas partes que son usadas para alimentación, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y/o grasas. Los biocombustibles de segunda generación provienen de residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa, como el bagazo de caña de azúcar, el rastrojo de maíz, paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, entre otros. Por su parte, los biocombustibles de tercera generación provienen de plantas y organismos fotosintéticos no alimenticios, de rápido crecimiento y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes, por lo que se les denomina "cultivos energéticos". Entre estos se encuentran los pastos perennes, semillas de algunos árboles y las algas[84].

Las macroalgas pardas son ricas en agua, carbohidratos y proteínas. Poseen paredes celulares con bajo contenido de celulosa y un contenido insignificante de lignina. Esta composición estructural y contenido nutricional apoyan el crecimiento y la degradación microbianos, lo que hace que estas algas sean materia prima viable para la producción de biocombustibles[85].

La singular maquinaria fotosintética de las algas permite sintetizar una gran cantidad de carbohidratos, lípidos y proteínas en condiciones óptimas. Los biocombustibles que pueden provenir de micro y macroalgas son biodiesel, syngas, biogas, lípidos, etanol, hidrógeno, entre otros (Figura 15), que son derivados de los ácidos grasos o provienen a partir de la fermentación de azúcares a alcoholes, procesos de transesterificación o de gasificación de biomasa[86].

La capacidad de las algas para producir biocombustibles, proteínas y carbohidratos es alimentada metabólicamente por la maquinaria fotosintética. La concentración de los productos metabólicos depende de diversas condiciones como la disponibilidad e intensidad de la luz solar, salinidad, temperatura, dióxido de carbono, presencia de macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio) y micronutrientes (hierro, manganeso, cobalto, zinc, boro, cobre y molibdeno, que son oligoelementos esenciales)[87].

---

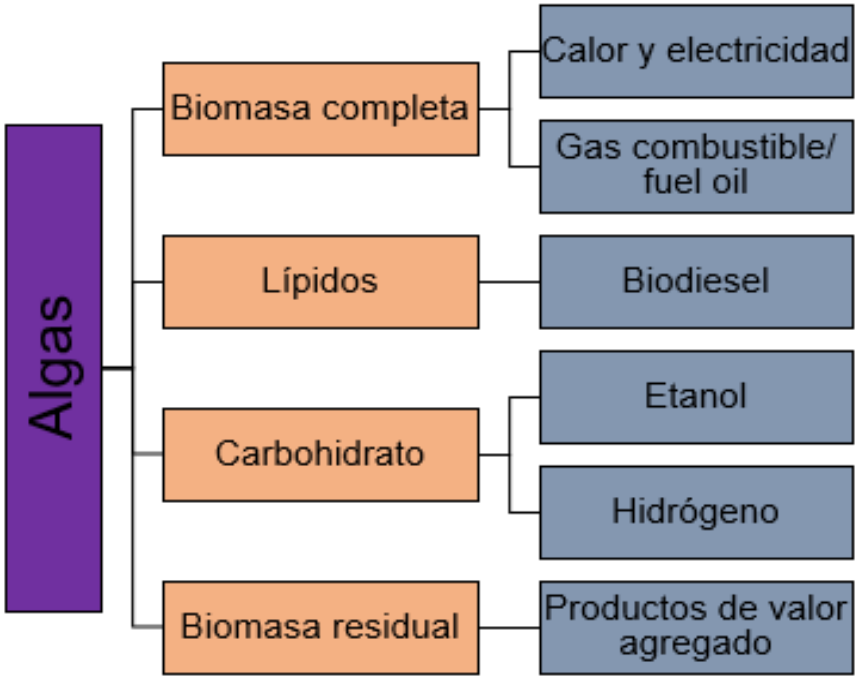
[84] ÁLVAREZ, Carlos. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. En: ECONOMÍA INFORMA. [sitio web] [Consultado el 27 de junio de 2020]. Disponible en: http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf

[85] Op. cit.

[86] TIWARI, Archana; KIRAN, Thomas y PANDEY, Anjana. *Algal cultivation for biofuel production.* En: BASILE, Angelo y DALENA, Francesco. Second and third generation of feedstocks – The evolution of biofuels. India: Elsiever, 2019. p. 391. ISSN: 978-0-1281-5162-4. [Consultado el 17 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815162-4.00014-8

[87] Ibíd. p. 383-384

**Figura 15.** Aplicaciones de la biomasa algal para la producción de biocombustibles




Fuente: elaboración propia con base en TIWARI, Archana; KIRAN, Thomas y PANDEY, Anjana. *Algal cultivation for biofuel production.* En: BASILE, Angelo y DALENA, Francesco. Second and third generation of feedstocks – The evolution of biofuels. India: Elsiever, 2019. p. 391. ISSN: 978-0-1281-5162-4. [Consultado el 17 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815162-4.00014-8

El biogás es una fuente de energía renovable compuesta principalmente de metano (50-70%) y dióxido de carbono (30-50%). Los oligoelementos y el vapor de agua también están presentes en esta fracción gaseosa. Si bien el contenido de metano de biogás es deseable, la presencia de componentes como el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco reduce su valor calorífico. La purificación del biogás elimina estas impurezas y produce biometano, un gas ecológico y denso energéticamente que puede reemplazar el gas natural comprimido para su aplicación en la cocina, la calefacción y la producción de electricidad[88].

Las algas del género *Sargassum* no han sido estudiadas desde una perspectiva de los biocombustibles como otras algas, ya que el potencial en estos campos se ha evaluado a partir de algas cultivadas. Sin embargo, la biomasa algal proveniente de las arribazones recientes amerita una evaluación de este recurso para determinar el pretratamiento de las mismas y su rendimiento.

[88] THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. p. 5. [Consultado el 17 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

## 2.5 PIGMENTOS

Los pigmentos son los compuestos por los cuales se captura la energía de la luz solar para la fotosíntesis mediante tres funciones principales, la absorción eficiente de luz, transferencia de la energía de excitación a los centros de reacción (RC) con pérdidas mínimas y degradación del exceso de energía con un daño mínimo al aparato fotosintético. La variedad de pigmentos en las algas ha contribuido a su aclimatación a ambientes de luz de diferente calidad e intensidad[89].

En las algas se encuentran tres clases principales de pigmentos fotosintéticos: clorofilas, carotenoides (carotenos y xantófilas) y ficobiliproteínas. Las clorofilas y los carotenos son moléculas liposolubles que se pueden extraer de las membranas tilacoidales con solventes orgánicos como acetona, metanol o dimetil sulfóxido (DMSO). Las ficobiliproteínas son hidrosolubles en agua y, por lo tanto, se pueden extraer de la biomasa algal con agua o soluciones tampón (buffer)[90].

Existen diferentes tipos de clorofila (clorofilas, chl a, chl b, chl c, chl d), que tienen estructuras similares, siendo el componente principal un anillo de porfirina y difieren según sus sustituyentes. La clorofila, especialmente la clorofila a (chl a), es un pigmento importante en la mayoría de las algas[91].

Las algas pardas contienen chl a, chl cl y chl c2, fucoxantina, violaxantina y β-caroteno. Estas algas tienen un color verde oliva a marrón oscuro característico debido a la abundancia de fucoxantina, un carotenoide amarillo-marrón que enmascara el color verde de la clorofila[92]. En la Tabla 4 se muestran algunos ejemplos de los pigmentos de algunas algas y las estructuras se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 4.** Pigmentos fotosintéticos en macroalgas: Distribución en los grandes grupos

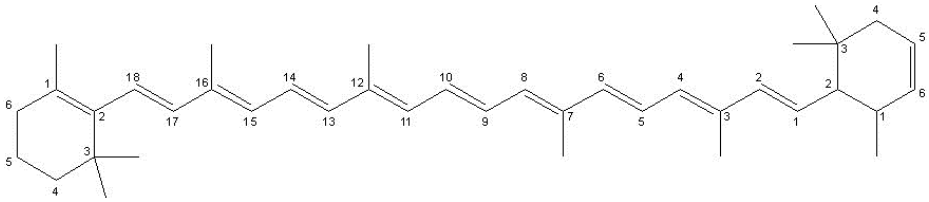
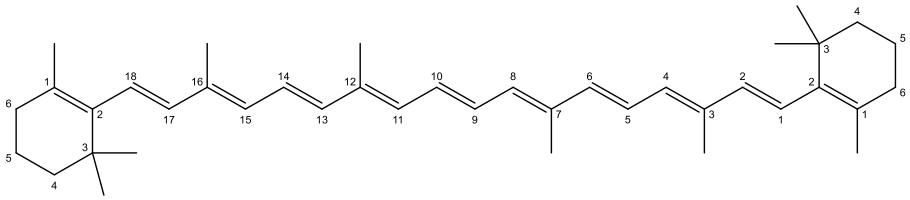
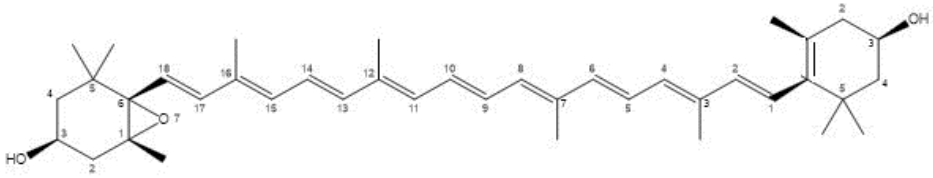
| Pigmento | Color | Grupo de algas |
|---|---|---|
| **Clorofilas** | | |
| clorofila a | azul-verde | verdes, pardas, rojas |
| clorofila b | verde oliva | verdes |
| clorofila c1 | verde claro | pardas |
| clorofila c2 | verde claro | pardas |
| clorofila d | | rojas |
| **Carotenoides** | | |
| α-Caroteno | amarillo | rojas |
| β-Caroteno | amarillo-naranja | verdes, pardas, rojas |
| antaraxantina | amarillo | verdes |

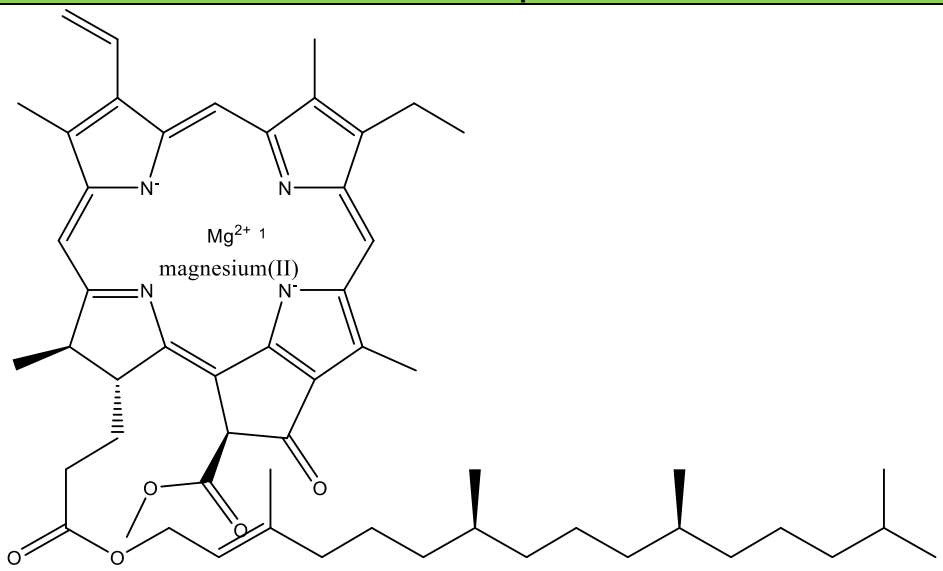
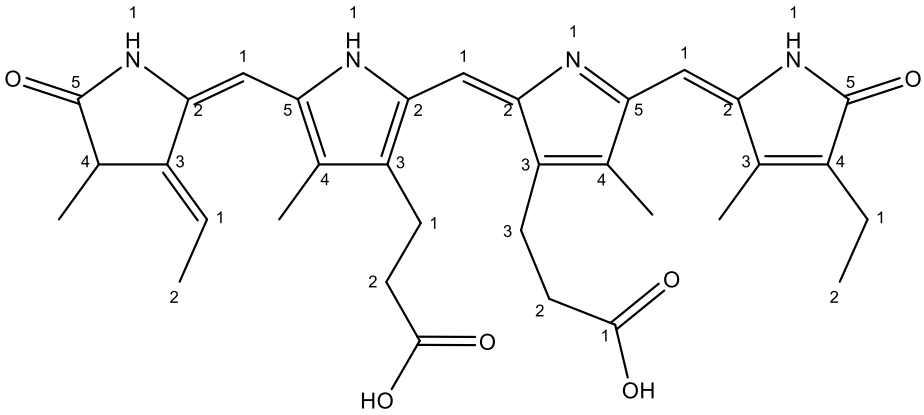
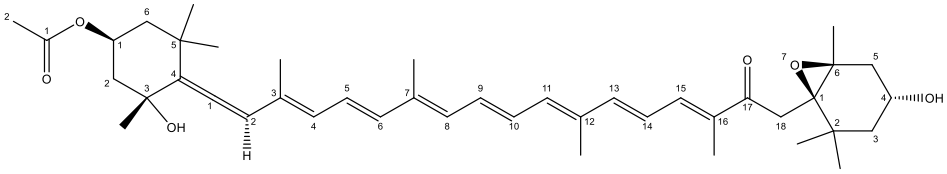
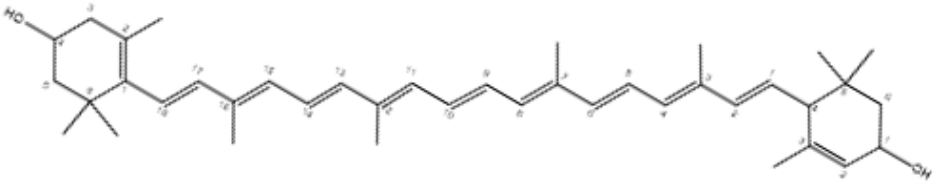
[89] DUMAY, J. y MORANÇAIS, M. *Chapter 9 – Proteins and Pigments.* En: FLEURENCE, Joël y LEVINE, Ira. Seaweed in health and disease prevention. Francia: Academic press, 2016. p. 276. [Consultado el 18 de junio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00009-9
[90] Ibíd. p. 275.
[91] Ibíd. p. 275-276.
[92] Ibíd. p. 284.

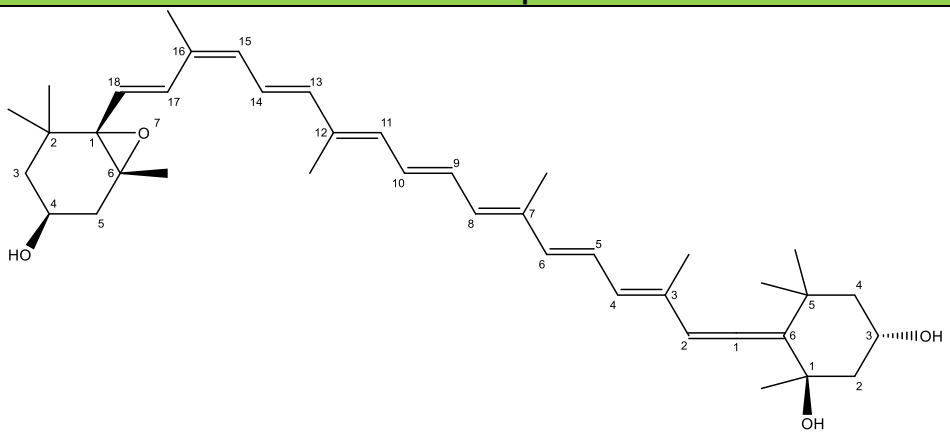
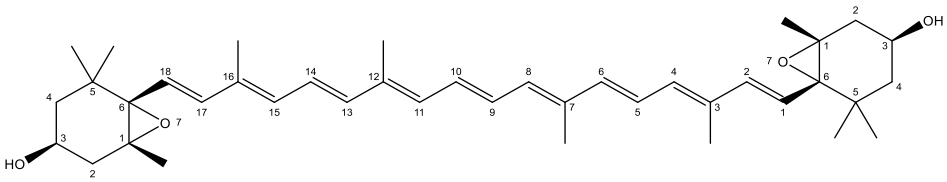
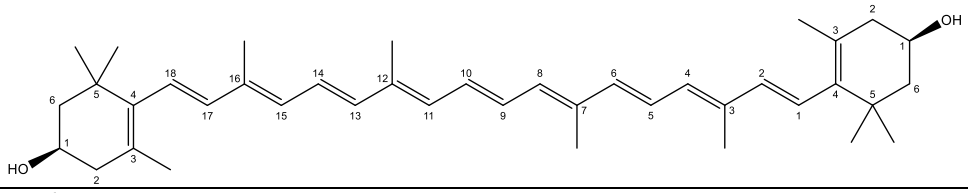
| Pigmento | Color | Grupo de algas |
|---|---|---|
| Fucoxantina | naranja | pardas |
| Luteína | amarillo | verdes, rojas |
| Neoxantina | amarillo | verdes |
| Violaxantina | amarillo | verdes, pardas |
| Zeaxantina | amarillo-naranja | verdes, rojas |
| **Ficobiliproteínas** | | |
| ficoeritrocianina | naranja | rojas |
| aloficocianina | azul | rojas |
| Ficocianina | azul | rojas |
| Ficoeritrina | rosado | rojas |

Fuente: elaboración propia con base en DUMAY, J. y MORANÇAIS, M. *Chapter 9 – Proteins and Pigments*. En: FLEURENCE, Joël y LEVINE, Ira. Seaweed in health and disease prevention. Francia: Academic press, 2016. p. 285. [Consultado el 18 de junio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00009-9

**Tabla 5.** Estructuras de clorofilas, principales carotenoides y ficobilinas presentes en las algas

| Pigmento | Estructura química |
|---|---|
| α-caroteno |  |
| β-caroteno |  |
| anteraxantina |  |

| Pigmento | Estructura química |
|---|---|
| clorofilas |   |
| ficocianobilina |  |
| fucoxantina |  |
| luteína |  |

| Pigmento | Estructura química |
|---|---|
| neoxantina |  |
| violaxantina |  |
| zeaxantina |  |

Fuente: elaboración propia.

## 2.6 ALIMENTOS PARA ANIMALES

En regiones áridas, las épocas secas afectan gravemente la cría de animales como ovejas y cabras, entre otros. Las algas marinas del género *Sargassum* representan una alternativa importante como alimento ya que son buena fuente de minerales, carbohidratos y algunos aminoácidos esenciales como arginina, triptófano y fenilalanina. También son ricas en betacarotenos y minerales, y no se han detectado elementos antinutritivos en ellas[93].

En Europa es tradición el consumo de algas en animales de granja. Por ejemplo, en Escocia, las ovejas y el ganado pueden comer varias algas cuando pastorean en la playa. En general, las algas se incluyen en la dieta de los animales de granja en forma de harina. Hay algunos ejemplos del consumo de algas por parte de animales

[93]MARÍN, Alejandro, *et al*. The marine algae *Sargassum* spp. (Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions. *Revista de biología tropical.* 2009, vol. 57. p. 1. [Consultado el 29 de junio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.15517/rbt.v57i4.5464

silvestres. En las islas del mar de Bering los zorros polares incluyen las algas como parte de su dieta normal[94].

En los Estados Unidos también se desarrolla el uso de harina de algas marinas como aditivo alimentario para la nutrición animal. Esto se refiere principalmente a la alimentación de ovejas, aves, perros, gatos y caballos[95].

Hoy en día, la disponibilidad de algas para animales se ha incrementado con la producción de harina de algas. Noruega fue uno de los primeros productores de harina de algas marinas a partir de *Ascophyllum nodosum,* Francia ha utilizado *Laminaria digitata,* Islandia especies de *Ascophyllum* y *Laminaria,* y en el Reino Unido se ha usado, *Ascophyllum.* Las algas marinas utilizadas como alimento deben cosecharse en fresco ya que las algas a la deriva suelen ser bajas en minerales y generalmente se infectan con hongos filamentosos[96].

Debido a que algunos carbohidratos y proteínas no son fácilmente digeribles, se ha asumido tradicionalmente que las algas marinas aportan a la dieta de los animales minerales, oligoelementos y vitaminas. Las algas contienen cantidades de minerales (potasio, fósforo, magnesio, calcio, sodio, cloro y azufre), oligoelementos y vitaminas. Entre los oligoelementos se incluyen zinc, cobalto, cromo, molibdeno, níquel, estaño, vanadio, flúor y yodo[97].

En la piscicultura se ha usado harina de algas como aglutinante, pues cuando el alimento se arroja a los estanques o jaulas de peces este debe permanecer compacto y no desintegrarse ya que es un alimento húmedo formado en una masa pastosa que generalmente contiene desechos de carne y de pescado mezclados con aditivos secos que contienen nutrientes adicionales. El aglutinante puede ser una proporción significativa del alimento, incrementando costos de producción, por lo que la harina de algas es una muy buena opción[98].

La harina de algas además funciona como un excelente atractante, aglutinante y texturizante, lo que permite una utilización más efectiva de los nutrimentos dietarios en la camaronicultura[99]. En Perú se cultivan las algas pardas *Macrocystis* spp. a nivel laboratorio para ejecutar un proyecto en el que se produce un aglutinante orgánico para la elaboración de alimentos balanceados para la acuicultura, aunque,

---

[94] FLEURENCE, J. *Chapter 5 – Seaweeds as Food.* En: FLEURENCE, Joël y LEVINE, Ira. Seaweed in health and disease prevention. Francia: Academic press, 2016. p. 158-159. [Consultado el 18 de junio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00005-1

[95] Ibíd.

[96] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. Roma: FAO, A guide to the seaweed industry. 2003. p. 93. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-y4765e.pdf

[97] Ibíd.

[98] Ibíd. p. 94.

[99] CASAS-VALDEZ, Margarita; *et al.* Efecto del alga marina *Sargassum* spp. sobre las variables productivas y la concentración de colesterol en el camarón café, Farfantepenaeus californiensis (Holmes, 1900). *Revista de biología marina y oceanografía.* 2006, vol. 41. p. 97-105. [Consultado el 25 de agosto de 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572006000100012

este también puede ser utilizado para consumo humano en suplementos nutricionales[100].

## 2.7 OTROS

En México se le ha dado varios usos innovadores al sargazo de arribazón, entre los que se destaca la fabricación de ladrillos, creando soluciones económicas y ecológicas de vivienda. Estos ladrillos han demostrado ser tan resistentes y durables como los de adobe, además el costo de la construcción es 50% menos al de una vivienda en adobe[101].

La fabricación de estos ladrillos se hace con la misma técnica con la cual se fabrican los ladrillos de adobe[102]. Básicamente, los ladrillos de adobe están compuestos de arena (50%), tierra arcillosa (30%), agua y paja (20%) u otro tipo de material[103]. El proceso de los ladrillos de sargazo empieza con la recolecta del alga en la playa que posteriormente se comprime; se mezcla con adobe y se manipula con una caja moldeadora de manera artesanal; se deja secar al sol durante 10 días y finalmente se apilan y se van uniendo con la misma mezcla del sargazo, por lo que no requiere de ningún aglutinante[104].

Otra innovación es la creación de calzado único y diferente, en el que se utilizan botellas plástico (PET) basándose en el concepto de las tres erres (Reducir, Reciclar y Reutilizar) y también se utiliza sargazo que se recolecta en el mar y las playas del Caribe. Estos zapatos son ensamblados con pegamento a base de agua, el cual no es nocivo para quien lo labora ni para quien los utiliza[105].

Para la elaboración de este calzado se recolecta el sargazo seco y sin arena, se tritura, se pasa al área de integración con los polímeros (que pueden ser desde polímeros inyectados hasta moldeados). En este caso se utilizan polímeros inyectados, después que se tiene el plástico con la integración de sargazo, se pasa a la máquina de inyección, en la que se le puede agregar más sargazo. Cada zapato contiene aproximadamente 100 gramos de sargazo y 7 botellas PET[106]. En la Figura

---

[100] VIDAL, Efrén. PERÚ – Cultivan algas pardas como insumo de aglutinante orgánico en la elaboración de alimentos balanceados para acuicultura. En: ALTERINFOS AMÉRICA LATINA. [sitio web] [Consultado el 25 de agosto de 2020]. Disponible en: http://www.alterinfos.org/spip.php?article4377

[101] REDACCIÓN OBRAS. Fabrica ladrillos con sargazo y construye viviendas en Quintana Roo. [sitio web]. [Consultado el 11 de julio de 2020]. Disponible en: https://obras.expansion.mx/construccion/2019/03/11/fabrica-ladrillos-con-sargazo-y-construye-viviendas-en-quintana-roo

[102] Ibíd.

[103] DURÁN, Rubén. Cómo fabricar ladrillos de adobe. En: ALBAÑILES. [sitio web]. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.albaniles.org/albanileria/como-fabricar-ladrillos-de-adobe/

[104] W RADIO. Señor Sargazo; convierte alga en tabique y construye casa en Quintana Roo. En: W Radio. Ciudad de México. 4, julio, 2019. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://wradio.com.mx/radio/2019/06/04/sociedad/1559676977_865377.html

[105] RENOVARE ®. [sitio web]. León, México. [consultado el 11 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.renovareco.com

[106] AGUILAR, Leilani. Renovare Ocean: la empresa leonesa creadora de zapatos ecológicos. En: PRAVIA. [sitio web]. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://pravia.com.mx/vital/conciencia/renovare-ocean-empresa-leonesa-creadora-zapatos-ecologicos/

16 se muestra el proceso de adecuación de los materiales para la elaboración de este calzado.

**Figura 16.** Proceso de adecuación de los materiales para la elaboración de calzado a base de sargazo

Fuente: AUSTRIA, Xóchitl. Estos mexicanos hacen tenis de PET reciclado y sargazo. En: ENTREPRENEUR. [sitio web]. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.entrepreneur.com/article/336680

Finalmente, utilizan el sargazo como materia prima para procesarlo y transformarlo en productos como agendas, libretas, tarjetas de presentación, carpetas, cajas, entre otros[107]. El proceso para hacer estos productos inicia con la recolección del alga, se deshidrata para eliminar los microorganismos y luego se vuelve a hidratar con una mezcla de esencias y sales, esto se realiza varias veces para eliminar olores procedentes del alga. Luego se crea una pasta, la cual se agrega a una mezcla de papel reciclado, realizado con libros y libretas, se tritura para que la celulosa se incluya en la fibra, finalmente se atan las hojas y pastas para unirlas con un pegamento natural[108].

[107] SARGÁNICO. [sitio web]. Cancún, México. [consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://sarganico.mx/
[108] QUINTAL, Renan. ¿Escribir sobre sargazo? Esta cozumeleña te da el papel. En: EL FINANCIERO. [sitio web]. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.elfinanciero.com.mx/peninsula/escribir-sobre-sargazo-esta-cozumelena-te-da-el-papel

# 3. PROCESOS UNITARIOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE POLISACÁRIDOS PROVENIENTES DEL SARGAZO

Las algas en general, poseen polisacáridos de almacenamiento o estructurales. Los polisacáridos de almacenamiento son los laminaranos, mientras que los polisacáridos estructurales de las paredes celulares, tejidos intercelulares y matriz mucilaginosa, son los alginatos y los fucoidanos[109]

Una vez recolectadas las algas, éstas pueden usarse húmedas o secas. Las algas húmedas se cortan en pequeños pedazos, se tratan con solución diluida de formol y pueden almacenarse en tanques de concreto por varios meses. Las algas secas generalmente se trituran y se pueden almacenar por meses. Cuando se van a usar se hidratan remojándolas por varias horas. No obstante, algunos productores emplean el alga intacta. En general, la trituración es más ventajosa pues permite un manejo más sencillo a nivel de planta, e incrementa la superficie de reacción en los tratamientos posteriores[110].

## 3.1 PROCESOS UNITARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE FUCOIDANOS

Para preparar las algas, se deben secar después de su recolección, esto ayuda a conservarlas de mejor manera; posterior a esto, se deben triturar para facilitar los procesos de extracción que se van a realizar, a continuación, para separar los sólidos de los líquidos se debe hacer una centrifugación, siguiendo un proceso de purificación para obtener el polisacárido deseado. A continuación, se va a explicar el método más común de extracción para la obtención de fucoidanos.

Se han utilizado diferentes técnicas de extracción para aislar estos polisacáridos sulfatados de las algas marinas como etanol, extracción de agua fría y caliente, digestión enzimática, digestión proteolítica, hidrólisis ácida o una combinación de los tratamientos anteriores. Algunos de estos métodos tienen varias limitaciones tales como efectos tóxicos, altos costos y ser un procedimiento complejo[111].

En la Figura 17 se muestra el método más común para la extracción de fucoidanos a partir de algas pardas. El método se basa en un proceso de fraccionamiento,

[109] RABANAL, Melissa. Estudio del sistema de polisacáridos del alga parda Dictyota dichotoma y su actividad antiviral. Tesis de Doctorado. Buenos Aires. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Área Ciencias Biológicas. 2015. p. 23. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.35537/10915/45310

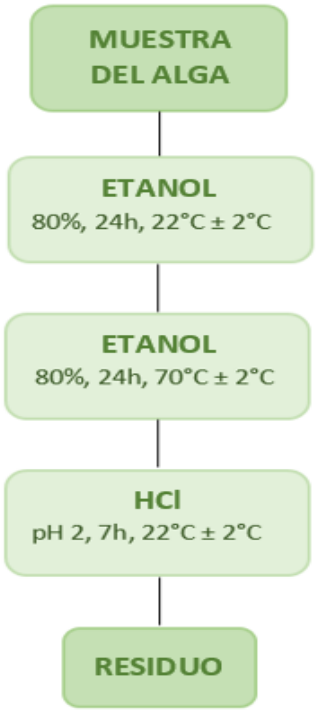
[110] AYARZA, Jorge. Los alginatos: 2000 usos de las algas submarinas. *Revista de Química PUCP*. 2014, vol. 28, nro. 1-2, p. 20. ISSN 1012-3946. [Consultado el 23 de junio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download/10413/10863/

[111] DE ZOYSA, Mahanama; *et al*. Anticoagulant activity of sulfated polysaccharide isolated from fermented brown seaweed *Sargassum fulvellum. Journal of Applied Phycology.* 2008, vol. 20. p. 68. [Consultado el 26 de agosto de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s10811-007-9182-7

basado diferencias en solubilidad de los polisacáridos de algas[112], en etanol al 80% como solvente a temperatura ambiente por 24 h. De ahí se obtiene un primer extracto, posteriormente se hace una centrifugación, el residuo se extrae nuevamente con etanol al 80% pero a 70 ° C mediante lo cual se obtiene un segundo extracto[113].

En un paso posterior a la obtención del segundo extracto, se hace una reextracción con HCl diluido a pH 2, durante 7 h a temperatura ambiente con agitación mecánica[114]. A cada extracto se le debe realizar una caracterización química, para determinar azúcares neutros, ácidos urónicos, proteínas y aniones. Para separar los polisacáridos se puede emplear Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) y para caracterizarlos se usan técnicas espectroscópicas como Espectrometría IR (FTIR)[115].

**Figura 17.** Proceso de obtención del fucoidan a partir de algas pardas




Fuente: elaboración propia con base en GÓMEZ, Eva. Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles. Estudios "in vitro" e "in vivo". Tesis doctoral. Madrid. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia.
Departamento de nutrición y bromatología II (Bromatología). 2013. p. 44. [Consultado el 18 de julio de 2020]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/20162/

[112] GÓMEZ, Eva. Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles. Estudios "in vitro" e "in vivo". Tesis doctoral. Madrid. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de nutrición y bromatología II (Bromatología). 2013. p. 43. [Consultado el 18 de julio de 2020]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/20162/
[113] RABANAL, Melissa. Op. Cit., p. 90.
[114] Ibíd.
[115] GÓMEZ, Eva. Op. Cit., p. 44.

El uso del etanol en estos casos permite que los polisacáridos se precipiten debido a que la mayoría son insolubles en solventes orgánicos[116]. El solvente para la reextracción se eligió a partir de un estudio, en el que comparaban 3 solventes: agua, solución $CaCl_2$ y HCl, a dos temperaturas diferentes: temperatura ambiente y 70 ºC. En este estudio se determinó que los mejores rendimientos para la extracción de fucoidanos se obtuvieron con el HCl, pues no presentó una brecha importante en los rendimientos y pesos moleculares[117].

Alternativamente a este método, se puede utilizar una degradación del polisacárido usando UV/$H_2O_2$. Para este método se debe hacer un fraccionamiento, explicado anteriormente, para obtener los extractos donde se encuentren los polisacáridos. Se añade $H_2O_2$ al alga tratada por fraccionamiento a una concentración inicial específica mmol / L de $H_2O_2$. Estos sistemas se irradian con UV mientras la solución se debe agitar a 150 rpm. Este proceso se realiza para aprovechar aún más el material orgánico[118].

Existen dos métodos adicionales para la extracción de fucoidanos puros, extracción por agua caliente (HWE), donde se utiliza el polvo seco del alga, y ultrasonido, en el que se deben utilizar métodos de extracción asistida (EAU)[119].

Para la extracción con agua caliente, las algas en polvo se mezclan con agua destilada acidificada (pH-2) usando HCl 1 N en la proporción de 1:25 (algas: agua) y se agita durante 15 minutos para permitir que el polvo de algas se hidrate. La suspensión de algas se agita continuamente durante dos horas a 85 ° C. Después de la extracción, la solución se debe neutralizar con 1 N NaOH y filtrar utilizando un embudo de malla de nailon. El filtrado se centrifuga durante 15 min a 6500 rpm a temperatura ambiente. Se hace una segunda filtración papel de filtro de 11 µm y se somete a vaporización instantánea a 45 °C hasta que el filtrado adquiera una consistencia espesa. La solución viscosa se precipita con alcohol al 70% (v/v). El precipitado se separa nuevamente por filtración a través de un filtro de nailon de 1 µm y se somete a congelación en seco[120].

En el caso de EAU, la solución de algas hidratadas se somete a tratamiento de ultrasonido durante 30 min (pulso de 40 s encendido; pulso de 1 s apagado; 50%

---

[116] GONZÁLEZ, Diego; PARIONA, Carlos y LONDOÑE, Pablo. Extracción de polisacáridos sulfatados a partir del tegumento del pepino de mar Pattalus mollis. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú.* 2019, Vol. 30, nro. 3. p. 1268. [Consultado el 26 de agosto de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.15381/rivep.v30i3.16701

[117] PONCE, Nora, *et al.* Fucoidans from the brown seaweed *Adenocystis utricularis:* extraction methods, antiviral activity and structural studies. *Carbohydrate Research.* 2003, vol. 338, nro. 2, p. 153-165. [Consultado el 26 de agosto de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/S0008-6215(02)00403-2

[118] CHEN, Xiaoyong; *et al*. Degradation of polysaccharides from Sargassum fusiforme using UV/H2O2 and its effects on structural characteristics. *Carbohydrate Polymers*. 2020, Vol. 230. p. 1. [Consultado en 25 de agosto de 2020]. Recurso PDF. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115647

[119] HANJABAM, Mandakini; *et al*. Isolation of crude fucoidan from Sargassum wightii using conventional and ultra-sonication extraction methods. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre.* 2019, Vol. 20. p. 3. [Consultado el 25 de agosto de 2020]. Recurso PDF. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100200

[120] Ibíd.

amplitud). Los pasos de extracción posteriores siguientes son los mismos que para HWE. La extracción asistida por ultrasonido se realiza una vez[121].

## 3.2 PROCESOS UNITARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ALGINATOS

Al igual que se explica en el ítem anterior, las algas se deben secar y posteriormente triturar para así facilitar el proceso de extracción que se le vaya a realizar, en este caso, para la extracción de alginatos, el método más común es por medio de una extracción alcalina, posterior a esto, se hace un proceso de purificación para así obtener el alginato. A continuación, se explica más a fondo el proceso de extracción de los alginatos.

En la Figura 18 se observan las etapas del proceso de extracción y purificación del alginato de sodio. En un pre-tratamiento se trata el alga con una solución de formol para remover los compuestos fenólicos que dan un color oscuro indeseable, y se remoja en HCl diluido por periodos cortos de tiempo para transformar el alginato de calcio a ácido algínico. La conversión no es total, pero busca remover la mayor cantidad de calcio sin degradar los alginatos[122].

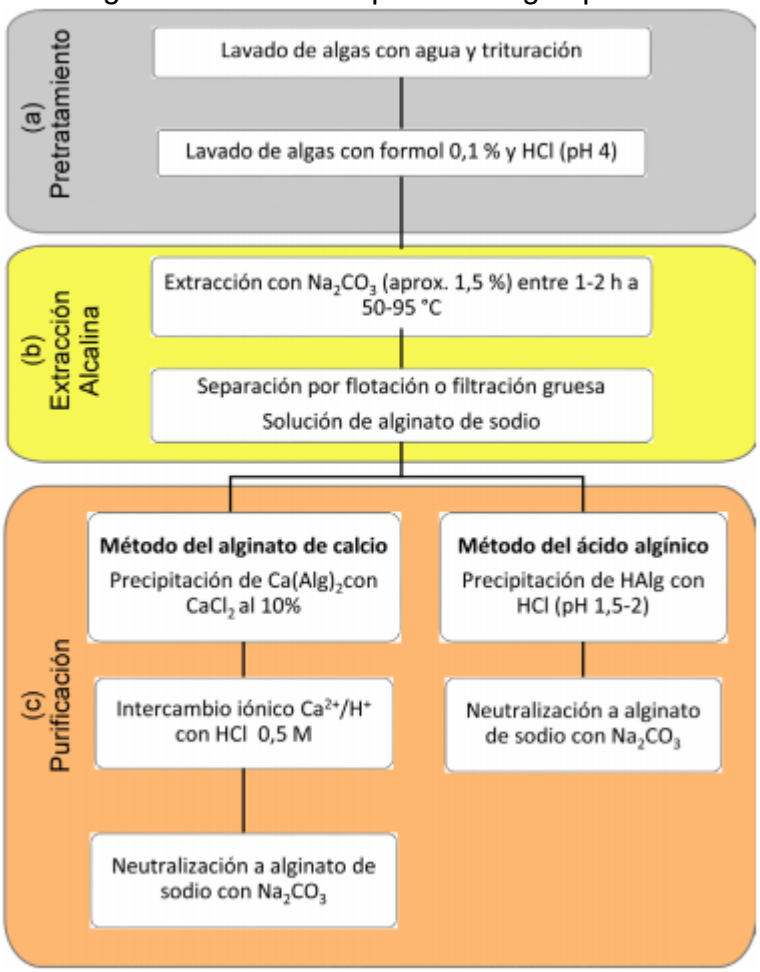
> La extracción de los alginatos como su sal de sodio se realiza con un tratamiento alcalino mediante una solución de carbonato de sodio $Na_2CO_3$. Una vez que se tiene la solución de alginatos de sodio, se pueden emplear dos métodos de purificación el proceso de los alginatos de calcio y el proceso del ácido algínico. En el primer método, la solución de alginatos de sodio se añade a una solución de cloruro de calcio $CaCl_2$, y, en el segundo método se añade una solución de HCl diluida seguido en cada caso, de etapas de neutralización y purificación adicional[123].

Otra opción para la purificación de los alginatos para eliminar impurezas insolubles se utiliza la centrifugación a 3000 rpm durante 10 minutos, seguido de filtración con membrana de celulosa de tamaño de poro de 8 µm y recuperado por liofilización[124].

---

[121] Ibíd.
[122] AYARZA, Jorge; COELLO, Yves y NAKAMATSU, Javier. SEM–EDS study of ionically cross-linked alginate and alginic acid bead formation. International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2016. p. 20. ISSN 1023-666X. [Consultado el 20 de agosto de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1080/1023666X.2016.1219834
[123] Ibíd.
[124] Ibíd.

**Figura 18.** Etapas del proceso de extracción y purificación de los alginatos de sodio a partir de algas pardas




Fuente: AYARZA, Jorge. Los alginatos: 2000 usos de las algas submarinas. Revista de Química PUCP. 2014, vol. 28, nro. 1-2, p. 20. ISSN 1012-3946. [Consultado el 23 de junio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download/10413/10863/

## 3.3 PROCESOS UNITARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE LAMINARANOS

Ya que los laminaranos son hidrosolubles, al igual que el fucoidanos[125], se pueden utilizar los mismos métodos de extracción de estos polisacáridos. Primeramente, se deben secar las algas y luego triturarlas para un mejor manejo de estas, facilitando así los métodos de extracción a realizar, posterior a esto se hace una separación de componentes por medio de centrifugación seguido de una purificación del

[125] GUNATHILAKA, Thilina; SAMARAKOON, Kalpa; RANASINGHE, Pathmasiri y PEIRIS, Dinithi. Antidiabetic Potential of Marine Brown Algae—a Mini Review. 2020, vol 2020. p. 3. [Consultado el 20 de agosto de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.1155/2020/1230218

polisacárido. A continuación, se explicará un método de extracción para la obtención de laminaranos.

Una alternativa al método de fraccionamiento es la autohidrólisis, este proceso utiliza tan solo agua como disolvente a elevadas temperaturas (150-230°C) para lograr el fraccionamiento de la biomasa y la extracción del polisacárido[126].

Dado que la constante dieléctrica del agua disminuye con la temperatura, en el intervalo de operación subcrítico, los valores son similares a los de disolventes como acetona o metanol. Este hecho favorece la extracción de compuestos apolares, que no serían solubles en condiciones ambientales. Otro hecho que facilita la extracción del polisacárido del alga es que se trata de un proceso autocatalizado, en el que la autoionización del agua facilita la liberación de grupos ácidos al medio e induce un proceso de hidrólisis en condiciones más suaves que si se añadiese un ácido externamente[127].

> Su determinación cuantitativa se reduce a la determinación del contenido de glucosa. Las algas se hidrolizan y luego de esto se determina el contenido de glucosa en el hidrolizado por el método del fenol-sulfúrico. El método se fundamenta en que los carbohidratos son particularmente sensibles a ácidos fuertes y altas temperaturas, se inicia con una deshidratación simple, se continúa el calentamiento y la catálisis ácida para producir varios derivados del furano que condensan consigo mismos y con otros subproductos para producir compuestos coloridos, producto de la condensación de compuestos fenólicos y con heterociclos con el nitrógeno como heteroátomo. La condensación más común es con fenol[128].

## 3.4 OTROS MÉTODOS PARA LA EXTRACCIÓN DE POLISACÁRIDOS EN ALGAS PARDAS

Existen otros métodos de extracción de polisacáridos que no son comúnmente utilizados o se utilizan en menor medida, estos son:

**3.4.1 Extracción líquido-líquido.** Para este procedimiento se debe congelar las algas en el pretratamiento. Una vez descongeladas las algas, se separa la fase sólida del líquido de descongelado. Las algas se someten a presión de 2 MPa en la prensa, la fracción sólida residual del alga obtenida tras el prensado se empaca y se congela de nuevo. El líquido escurrido durante el prensado se filtra para eliminar posibles restos de alga, sólidos extraños o arena[129].

---

[126] PÉREZ, Patricia. Obtención de fracciones enriquecidas en compuestos bioactivos a partir de extractos acuosos de Sargassum muticum. Tesis doctoral. Universidad de Vigo. Galicia. 2019. p. 16. [Consultado el 20 de agosto de 2020]. Disponible en: http://hdl.handle.net/11093/1390

[127] Ibíd

[128] VALIENTE, Oscar y MOGOLLÓN, Edgar. Contenido de ácido algínico, manitol y laminarano en algas pardas de importancia económica. *Instituto Tecnológico de la Producción.* 2013. Vol. 11. ISSN: 1023-7070 [Consultado el 2 de agosto de 2020]. Disponible en: http://repositorio.itp.gob.pe/handle/ITP/51

[129] Ibíd.

Posterior a esto se debe hacer una extracción líquido–líquido, esta técnica se aplica para la extracción de compuestos apolares presentes en los extractos obtenidos tras los procesos de descongelación y de prensado. Para ello se pone en contacto el extracto con acetato de etilo en proporción volumétrica 1:3 (extracto:disolvente). Se somete a agitación orbital durante 24 h a 180 rpm. Se separan las fases orgánica y acuosa. A la fase orgánica se le agrega disolvente en rotavapor y posteriormente se redisuelve con agua. Ambas fases se liofilizan para obtener el extracto donde se encuentren los polisacáridos[130].

**3.4.2 Hidrólisis enzimática.** Este tipo de método se realiza tratando el alga con diferentes concentraciones de enzima, pH y temperatura. Cabe señalar que este tipo de hidrólisis presenta indudables ventajas frente a la tradicional hidrólisis química, entre las que cabe mencionar: elevada selectividad, condiciones de uso moderadas (de temperatura y pH), alta actividad catalítica, inactivación después de su uso por el subsecuente proceso[131]. Para este tratamiento se deben tener en cuenta la aplicación de inhibidores (competitivos o no competitivos) para disminuir la actividad de la enzima cuando ya sea necesario[132].

**3.4.3 Extracción asistida por microondas (MAE).** Este método es uno de los más eficientes y amigables con el medio ambiente, que puede superar las desventajas de los métodos tradicionales de extracción. Sin embargo, la extracción por microondas podría cambiar la estructura química y las bioactividades de los polisacáridos de interés si no se desarrolla en condiciones adecuadas[133].

Este método se basa en el calentamiento rápido del solvente y la muestra debido al efecto directo del microondas sobre las moléculas por conducción iónica y rotación dipolar, se emplea ampliamente en el análisis y la extracción de compuestos naturales[134]. El proceso puede realizarse en recipientes cerrados, que pueden operar a una presión superior a la atmosférica o en recipientes abiertos, que operan a presión atmosférica. La extracción por microondas en recipientes abiertos puede ser más efectiva en relación a una mayor seguridad, la posibilidad de procesar

---

[130] Ibíd.

[131] CIAN, Raul. APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL ALGA PHORPHYRA COLUMBINA. PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE FICOCOMPONENTES (PROTEÍNAS Y POLISACÁRIDOS). ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES BIO Y TECNO-FUNCIONALES. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Litoral. 2014. p. 26. Disponible en: https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/563/Tesis%20Cian%20RE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[132] CIAN, Raul. Op. Cit., 35.

[133] REN, Beibei; *et al.* Optimization of microwave-assisted extraction of Sargassum thunbergii polysaccharides and its antioxidant and hypoglycemic activities. *Carbohydrate Polymers.* 2017, Vol. 173. ISSN:0144-8617. [Consultado el 26 de agosto de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.094

[134] PÉREZ, Lorena; CONDE, Enma y DOMÍNGUEZ, Herminia. Microwave hydrofiffusion and gravity processing of Sargassum muticum. *Process Biochemistry.* 2014, Vol. 49, nro. 6. p. 981-982. [Consultado el 26 de agosto de 2020]. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2014.02.020

muestras más grandes, el menor costo del equipo y las condiciones generadas para especies termolábiles[135].

Para cada una de las extracciones se debe realizar un análisis de condiciones óptimas en las que se varía el tiempo, la potencia del microondas, la temperatura de extracción y la proporción de agua cruda, ya que es el que se utiliza como solvente[136].

[135] Ibíd.
[136] REN, Beibei; *et al.* Op. cit.

# 4. INDUSTRIAS QUE PODRÍAN BENEFICIARSE DE LOS POLISACÁRIDOS DEL SARGAZO

Para implementar los polisacáridos derivados de las algas en la industria se debe tener en cuenta las propiedades que cada uno de estos posee. En el caso de los alginatos, su aplicación se basa en su habilidad como espesante cuando se disuelve en agua, su capacidad de retener agua y su habilidad para formar geles a partir de una serie de reacciones químicas de intercambio iónico que enlazan las cadenas adyacentes del polímero de alginatos[137]. Los fucoidanos, poseen propiedades antivirales y microbicidas[138], también se considera que fortalece el sistema inmunológico, pues tiene la capacidad de estimular los macrófagos que fagocitan las células dañadas y antígenos infecciosos[139]. De otra parte, se ha demostrado que los fucoidanos mejoran la textura de los alimentos[140]. Por último, a los laminaranos se le atribuyen propiedades anticoagulantes, capacidad de reducir el colesterol en la sangre y como fibra alimentaria[141].

A continuación, se describen más a fondo los polisacáridos descritos anteriormente y donde pueden utilizarse según sus propiedades.

## 4.1 INDUSTRIAS QUE PODRÍAN USAR LOS FUCOIDANOS

Debido a sus propiedades, los fucoidanos pueden tener diferentes aplicaciones, en particular la industria farmacéutica, por sus propiedades anticancerígenas y antibacteriales, entre otras.

Para la industria de alimentos y nutraceúticos, los fucoidanos revisten de gran interés debido a su amplio rango de actividad biológica, incluyendo actividad anticoagulante y antitrombótica, antiviral, antitumoral e inmunomoduladora, antiinflamatoria, reductora de lípidos sanguíneos y sus propiedades antioxidantes estudiados[142]. En la Figura 19 se muestran algunas propiedades bioactivas de lo polisacárido sulfatado fucoidan.

---

[137] AVENDAÑO, G; LÓPEZ, A. y PALOU, E. Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. En: Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. [sitio web] [Consultado el 11 de agosto de 2020]. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/acym/ALGINATOS_I.pdf

[138] ORDANZA, Mauricio y RINCONES, Raúl. El cultico de las algas marinas: alternativa industrial en acuacultura sustentable a mediano y largo plazo. *CienciaUAT.* 2008, Vol. 3, nro. 2, p. 70. ISSN: 2007-7521. [Consultado el 9 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/405

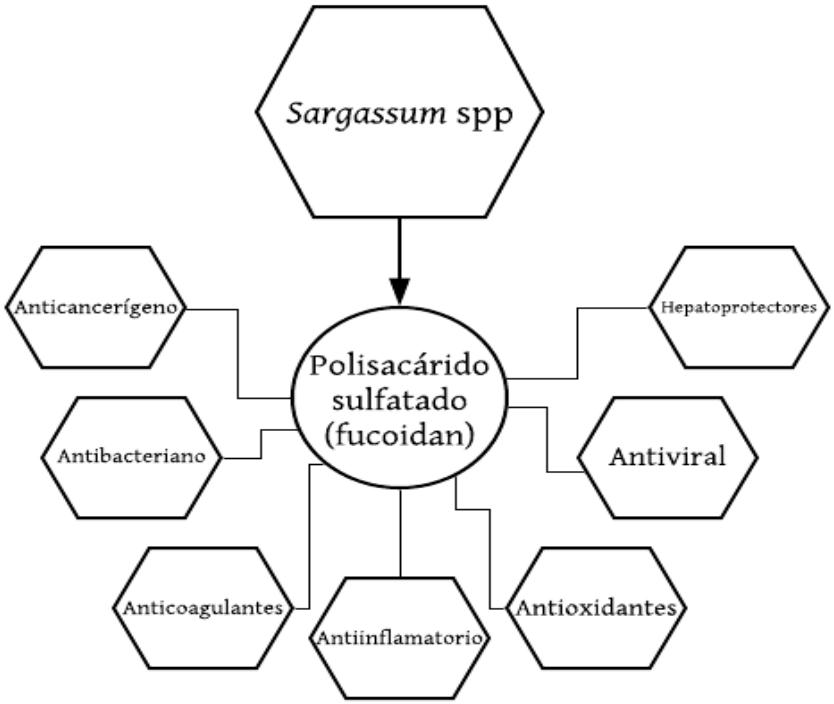
[139] Ibíd.

[140] GUTIÉRREZ, Ranferi, *et al*. Evaluación nutricional del alga *Macrocystis pyrifera* como aditivo alimentario para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. *Abanico veterinario.* 2015, Vol. 5, nro. 1. ISSN: 2007-4204. [Consultado el 9 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317473976

[141] GÓMEZ, Eva. Op. cit., p. 11.

[142] LI, Bo; *et al.* Fucoidan: structure and bioactivity. *Molecules.* 2008. p. 1-2. ISSN 1420-3049. [Consultado el 20 de octubre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.mdpi.com/1420-3049/13/8/1671/html

**Figura 19.** Propiedades bioactivas del polisacárido sulfatado fucoidan aislado de *Sargassum* spp




Fuente: elaboración propia con base en SANJEEWA, Asanka, *et al.* Bioactive potentials of sulfated polysaccharides isolated from brown seaweed *Sargassum* spp in related to human health applications: A review. *Food Hydrocolloids*. 2018, Vol. 81. p. 203. [Consultado el 15 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.040

En cuanto a propiedades anticancerígenas se demostró que los fucoidanos crudos podrían actuar como una fuente potencial para inducir apoptosis (muerte celular programada) en células de carcinoma[143]. Se han hecho diferentes estudios con los fucoidanos para el tratamiento del cáncer, y si bien faltan, el uso de este polisacárido ofrece resultados alentadores.

Las propiedades anticoagulantes de los fucoidanos plantean su uso como alternativa a la heparina, un anticoagulante comercial fuerte en el tratamiento y la prevención de enfermedades tromboembólicas, pero sin efectos secundarios negativos[144].

[143] SANJEEWA, Asanka, *et al*. Bioactive potentials of sulfated polysaccharides isolated from brown seaweed *Sargassum* spp in related to human health applications: A review. *Food Hydrocolloids.* 2018, Vol. 81. p. 200-208. [Consultado el 15 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.040
[144] Ibíd.

De otra parte, diversos estudios han evaluado el uso de harinas de algas que con un bajo contenido de fucoidanos (4-6%) como aditivo alimentario, ya que promueve la digestibilidad de los nutrientes presentes en el alimento y mejora su textura, fomentando así su ingestión[145].

Recientemente, el virus COVID-19 ha generado una pandemia mundial, a partir de esto se estudiaron los fucoidanos, extraídos del alga *Saccharina japonica,* como un inhibidor del virus en los mamíferos[146]. Se cree que estos compuestos podrían ser la base de un aerosol nasal y así tratar la infección precozmente, o incluso, para evitar la infección se bloquearía el virus antes que ingrese el cuerpo[147], por lo que el desarrollo de este producto reviste un interesante potencial para la humanidad.

## 4.2 INDUSTRIAS QUE PODRÍAN USAR LOS ALGINATOS

En general, las aplicaciones de los alginatos se relacionan con su capacidad de formar geles y su biocompatibilidad. La capacidad de formar geles es quizás la propiedad más interesante. Los geles de alginatos son resistentes a la temperatura, es decir, no se descomponen ni pierden su forma en un rango variable de temperatura[148]. Gracias a esta propiedad, los alginatos pueden llegar a utilizarse como agente espesante en alimentos tipo salsas o helados, en la industria cosmética, se pueden aprovechar para espesante de cremas y geles, además que son estabilizadores de textura[149].

Otro campo en el que se puede extender más su uso es en odontología, donde se tiene una demanda alta para la preparación de moldes para obtener impresiones dentales y de los tejidos blandos adyacentes. En ortodoncia los alginatos se utiliza para modelos de estudio, en elaboración de prótesis, impresiones en piezas antagonistas, para la elaboración de prótesis parciales removibles y en prostodoncia para impresiones primarias[150].

Además, la industria cinematográfica se puede ver beneficiada con los alginatos pues tiene aplicaciones importantes en la elaboración de máscaras y maquillaje de caracterización de disfraces y efectos especiales[151].

---

[145] GUTIÉRREZ, Ranferi, *et al*. Op. Cit.
[146] KWON, Paul; *et al.* Sulfated polysaccharides effectively inhibit SARS-CoV-2 in vitro. *Cell Discovery.* 2020, Vol. 6. [Consultado el 26 de agosto de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41421-020-00192-8
[147] R.I. El extracto de algas que supera al remdesivir en el bloqueo del virus Covid-19. En: Madri+d. 30, julio, 2020. [Consultado el 26 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.madrimasd.org/notiweb/noticias/extracto-algas-que-supera-remdesivir-en-bloqueo-virus-covid-19
[148] AYARZA, Jorge. Op. Cit.
[149] Ibíd.
[150] URTUVIA, Viviana, *et al*. Bacterial alginate production: An overview of its biosynthesis and potential industrial production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017, Vol. 33, p. 198. [Consultado el 9 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1007/s11274-017-2363-x
[151] SPECIAL EFFECT SUPPLY CORPORATION ®. [sitio web]. Estados Unidos. [Consultado el 25 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.fxsupply.com/life_casting/casting.html

## 4.3 INDUSTRIAS QUE PODRÍAN USAR LOS LAMINARANOS

A estos polisacáridos se les han descrito propiedades funcionales anticoagulantes, antitumorales y también capacidad de reducir el colesterol en la sangre[152]. Los laminaranos se constituyen también como sustrato de bacterias prebióticas en el colon[153]. Los laminarinas no gelifican ni forman ninguna solución viscosa. Las aplicaciones comerciales del extracto han sido limitadas[154]. Según esto, los campos donde podrían emplearse los laminaranos serían la industria farmacéutica y nutracéutica.

Esta es una sustancia relativamente poco explotada, pero se ha informado que se puede exponer a distintas funciones terapéuticas, como por ejemplo antiinflamatorio, antiapoptótico, actividades antitumorales, antioxidantes y anticoagulantes. Entre sus posibles aplicaciones biomédicas están las terapias de cáncer, ingeniería de tejidos y antioxidante y antiinflamatorio[155].

En cuanto a las terapias contra el cáncer los estudios son prometedores, pues los efectos de los laminaranos implican un aumento en la muerte celular apoptótica, inhibición de la formación de colonias e inhibición del potencial angiogénico. En la ingeniería de tejidos los andamios basados en los polisacáridos de origen marino han mostrado resultados prometedores como materiales de soporte multivalentes debido a sus propiedades fisicoquímicas y biológicas que pueden acelerar el proceso de curación. Finalmente, los laminaranos presentan un notable potencial terapéutico debido a su actividad antioxidante y antiinflamatoria. La actividad antioxidante reportada hasta la fecha son principalmente contra daño oxidativo causado por especies reactivas de oxígeno (ROS) y radicales libres[156].

Gracias a las propiedades de los fucoidanos, los alginatos y los laminaranos, el sargazo podría tener un uso versátil en industrias como lo son la farmacéutica, la cosmética o la alimentaria. Si bien los laminaranos tienen excelentes propiedades, estos se encuentran en baja proporción el sargazo[157], lo que hace que en las industrias tengan un uso reducido. Para impulsar su utilización se podría hacer uso de este polisacárido en conjunto con otro, ya sea con los alginatos o los fucoidanos o ambos, para extender su uso y así aprovechar al máximo sus propiedades.

---

[152] GÓMEZ, Eva. Op. Cit., p. 11
[153] Ibíd.
[154] HOLDT, Susan y KRAAN, Stefan. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology.* 2011, vol. 23, p.3. [Consultado el 23 de junio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227220444_Bioactive_compounds_in_seaweed_Functional_food_applications_and_legislation
[155] ZARGARZADEH, Mehrzad; *et al.* Biomedical applications of laminarin. *Carbohydrate Polymers.* 2020, Vol. 232. [Consultado el 26 de agosto de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115774
[156] Ibíd.
[157] Ibíd.

Según lo explicado en este documento, el sargazo tiene un gran potencial de usos en diversas industrias debido a los polisacáridos que contiene, ya sea para la comercialización del polisacárido puro, o para su implementación en las industrias mencionadas, siendo una gran alternativa a la utilización de estos polisacáridos procesados químicamente, ya sea por recolección del alga o por cultivo, constituyéndose como una materia prima económica de la que se pueden derivar numerosos beneficios.

# 5. CONCLUSIONES

- La química de las algas pardas ha demostrado tener numerosas aplicaciones en un amplio rango de industrias. Así, el sargazo, cada vez más disponible, merece ser evaluado y explorado con más detalle para poder obtener de esta biomasa productos que puedan tener aplicaciones en la industria, basados en sus polisacáridos, alginatos, laminaranos y fucoidanos.

- Dentro de los principales usos identificados para el sargazo, ya sea utilizado como biomasa o, por los polisacáridos que contiene, se aprovecha como fertilizante, producto alimenticio, elemento para biorremediación, biocombustible, pigmento, alimento para animales y para otros usos como elaboración de ladrillos y calzado, demostrando así, que la utilización y evaluación de este recurso a una mayor escala puede ser muy beneficioso en las zonas a donde llega en los eventos de arribazón.

- Según el polisacárido que se desee obtener se determinaron diferentes métodos de extracción que se pueden realizar. Los procesos unitarios que estos requieren son trituración, métodos de extracción dentro de los cuales se encuentran autohidrólisis, extracción alcalina o un método por fraccionamiento con solventes polares, centrifugación para la separación de partículas y diferentes métodos purificación.

- Si bien a cada polisacárido se le implementa un método específico de extracción, se están desarrollando nuevas alternativas igual de eficientes que se pueden implementar con las condiciones adecuadas a la hora de su aplicación.

- Se evaluaron las industrias que podrían beneficiarse con el sargazo, como en la alimentaria, la cosmética y la farmacéutica, que al emplear nuevos procesos que no requieren una gran cantidad de energía ni de productos químicos, reducen su huella de carbono y los costos de materia prima, generando un beneficio tanto a nivel empresarial como ambiental.

# 6. RECOMENDACIONES

- Para la industria cosmética los fucoidanos derivados del sargazo podrían ser viables económicamente, por lo que se tendría que hacer un estudio sobre cuáles productos se podrían desarrollar a partir de éstos.

- En Colombia, son muy pocos los usos que se le ha dado al sargazo pues los eventos de arribazones en las playas no han sido tan masivos, comparados con los de México. Aun así, dada su abundancia y sus propiedades promisorias, es necesario estudiar con detalle la biomasa del sargazo para el desarrollo de productos innovadores a partir de este recurso.

- Dependiendo de factores biológicos y ambientales la composición química del sargazo pueden variar, por lo cual es necesario caracterizar los componentes antes de su eventual aplicación en la industria.

- Dependiendo del polisacárido que se desee obtener se debe evaluar un método específico de extracción que asegure eficiencia y rentabilidad en el proceso.

- Para el transporte de las algas de arribazón al lugar de procesamiento, se debe tener en cuenta las necesidades específicas de cada finalidad, pues en ocasiones el alga se puede utilizar seca, como hay otras en las que se necesita fresca, por lo que el precio de producción final puede variar.

- Dependiendo del tipo de proceso de extracción, se debe identificar el tipo de residuo o residuos que se generen e indagar en procesos de tratamiento de éstos para su correcta adecuación.

## BIBLIOGRAFÍA


AGUILAR, Leilani. Renovare Ocean: la empresa leonesa creadora de zapatos ecológicos. En: PRAVIA. [sitio web]. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://pravia.com.mx/vital/conciencia/renovare-ocean-empresa-leonesa-creadora-zapatos-ecologicos/

ALE, Marcel Tutor; MIKKELSEN, Jørn D. y MEYER, Anne S. Important determinants for fucoidan bioactivity: A critical review of structure-function relations and extraction methods for fucose-containing sulfated polysaccharides from browm seaweeds. *Marine Drugs.* 2011, Vol. 9, nro. 10. p. 2106 - 2130. [Consultado el 11 de julio de 2020] Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3210621/

ÁLVAREZ, Carlos. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. En: ECONOMÍA INFORMA. [sitio web] [Consultado el 27 de junio de 2020]. Disponible en: http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf

ASHOK-KUMAR, N, *et al*. Effect of liquid seaweed fertilizer of Sargassum *wightii grev*. On the growth and biochemical content of green gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Recent Research in Science and Technology.* 2012, vol.4, p. 1. ISSN 2076-5061 [consultado el 28 de julio de 2020] Disponible en: http://recent-science.com/

AVENDAÑO, G; LÓPEZ, A. y PALOU, E. Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. En: Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. [sitio web] [Consultado el 11 de agosto de 2020]. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/acym/ALGINATOS_I.pdf

AYARZA, Jorge. Los alginatos: 2000 usos de las algas submarinas. *Revista de Química PUCP*. 2014, vol. 28, nro. 1-2, p. 19-23. ISSN 1012-3946. [Consultado el 23 de junio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download/10413/10863/

BULA-MEYER, Germán. Las macroalgas marinas en la agronomía y el uso potencial del Sargassum flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de San Andrés y Providencia, Colombia. *Intropica.* 2004, vol. 1, p. 1. ISSN 1794-161X. [Consultado el 29 de julio de 2020] Disponible en: https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/461/439

CARBOTECNIA. [sitio web]. ¿Cuál es la diferencia entre absorción y adsorción? Jalisco, México. [consultado el 11 de agosto de 2020]. Disponible en:

https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/

CARVALHO, Loïc G. y PEREIRA, Leonel. Review of marine algae as source of bioactive metabolites: a marine biotechnology approach. En: PEREIRA, Leonel y NETO, João*. Marine algae biodiversity, taxonomy, environmental assessment and biotechnology.* 2014. [Consultado el 24 de julio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299344826

CASAS-VALDEZ, Margarita; *et al.* Efecto del alga marina *Sargassum* spp. sobre las variables productivas y la concentración de colesterol en el camarón café, Farfantepenaeus californiensis (Holmes, 1900). *Revista de biología marina y oceanografía.* 2006, vol. 41. p. 97-105. [Consultado el 25 de agosto de 2020]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572006000100012

CHEN, Xiaoyong; *et al*. Degradation of polysaccharides from Sargassum fusiforme using UV/H2O2 and its effects on structural characteristics. *Carbohydrate Polymers*. 2020, Vol. 230. [Consultado en 25 de agosto de 2020]. Recurso PDF. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115647

CIAN, Raul. APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL ALGA PHORPHYRA COLUMBINA. PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE FICOCOMPONENTES (PROTEÍNAS Y POLISACÁRIDOS). ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES BIO Y TECNO-FUNCIONALES. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Litoral. 2014. p. 26. Disponible en: https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/563/Tesis%20Cian%20RE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CORAÇÃO, Amanda Cunha de Souza, *et al*. What do we know about the utilization of the *Sargassum* species as biosorbents of trace metals in Brazil? *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 2020, vol. 8, nro. 4. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103941

DE ZOYSA, Mahanama; *et al*. Anticoagulant activity of sulfated polysaccharide isolated from fermented brown seaweed *Sargassum fulvellum. Journal of Applied Phycology.* 2008, vol. 20. [Consultado el 26 de agosto de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s10811-007-9182-7

DÉLERIS, P; NAZIH, J. y BARD, J. -M. *Chapter 10 – Seaweeds in Human Health.* En: FLEURENCE, Joël y LEVINE, Ira. Seaweed in health and disease prevention. Francia: Academic press, 2016. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00010-5

DUMAY, J. y MORANÇAIS, M. *Chapter 9 – Proteins and Pigments.* En: FLEURENCE, Joël y LEVINE, Ira. Seaweed in health and disease prevention. Francia: Academic press, 2016. [Consultado el 18 de junio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00009-9

DURÁN, Rubén. Cómo fabricar ladrillos de adobe. En: ALBAÑILES. [sitio web]. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.albaniles.org/albanileria/como-fabricar-ladrillos-de-adobe/

ECURED. [sitio web]. Antropogénico. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.ecured.cu/Antropog%C3%A9nico

ESPINOSA, Luis Antonio y LI, Juan José. El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México. *BBVA Research.* 2020, nro. 20/02. [Consultado el 21 de junio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2020/02/Riesgo_Sargazo_Big_Data.pdf

FLEURENCE, J. *Chapter 5 – Seaweeds as Food.* En: FLEURENCE, Joël y LEVINE, Ira. Seaweed in health and disease prevention. Francia: Academic press, 2016. p. 158-159. [Consultado el 18 de junio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00005-1

GANESAN, Abirami R.; TIWARI, Uma y RAJAURIA, Gaurav. Seaweed nutraceuticals and their therapeutic role in disease prevention. *Food Science and Human Wellness.* 2019, vol. 8, nro. 3. [Consultado el 26 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.001

GÓMEZ, Eva. Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles. Estudios “in vitro” e “in vivo”. Tesis doctoral. Madrid. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de nutrición y bromatología II (Bromatología). 2013. p. 43. [Consultado el 18 de julio de 2020]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/20162/

GREENFACTS. [sitio web]. Eutrofización. [Consultado el 12 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/eutrofizacion.htm

GUNATHILAKA, Thilina; SAMARAKOON, Kalpa; RANASINGHE, Pathmasiri y PEIRIS, Dinithi. Antidiabetic Potential of Marine Brown Algae—a Mini Review. 2020, vol 2020. [Consultado el 20 de agosto de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.1155/2020/1230218

GUTIÉRREZ, Ranferi, *et al*. Evaluación nutricional del alga *Macrocystis pyrifera* como aditivo alimentario para juveniles del camarón *Litopenaeus vannamei*. *Abanico veterinario.* 2015, Vol. 5, nro. 1. ISSN: 2007-4204. [Consultado el 9 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317473976

HANJABAM, Mandakini; *et al*. Isolation of crude fucoidan from Sargassum wightii using conventional and ultra-sonication extraction methods. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre.* 2019, Vol. 20. [Consultado el 25 de agosto de 2020]. Recurso PDF. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100200

HERNÁNDEZ-CARMONA, Gustavo; *et al*. Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México. *Ingeniería, investigación y tecnología.* 2012, vol. 13, nro. 2. [Consultado el 22 de junio de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000200003

HOLDT, Susan y KRAAN, Stefan. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology.* 2011, vol. 23, p.3. [Consultado el 27 de julio de 2020] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/227220444_Bioactive_compounds_in_seaweed_Functional_food_applications_and_legislation

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. 2018 ISBN 9789588585673. 153 p.

INSTITUO NACIONAL DEL CÁNCER. [sitio web]. Antígeno. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/antigeno

INSTITUO NACIONAL DEL CÁNCER. [sitio web]. Carcinoma. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/carcinoma

INSTITUO NACIONAL DEL CÁNCER. [sitio web]. Senescencia. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/senescencia

KADAM, Shekhar U; *et al. Chapter 9 – Extraction of biomolecules from seaweeds.* En: Seaweed Sustainability. 2015. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00009-X

KADAM, Shekhar U; TIWARI, Brijesh y O`DONNELL, Colm. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from Brown algae. *International Journal of*

*Food Science and Technology.* 2015. [Consultado el 27 de agosto de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.1111/ijfs.12692

KWON, Paul; *et al.* Sulfated polysaccharides effectively inhibit SARS-CoV-2 in vitro. *Cell Discovery.* 2020, Vol. 6. [Consultado el 26 de agosto de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41421-020-00192-8

LAURIENZO, Paola. Marine Polysaccharides. Vol. 2. Italia: Marine Drugs, 2018. 290 p. [Consultado el 23 de junio de 2020] Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.3390/books978-3-03842-900-5

LI, Bo; *et al.* Fucoidan: structure and bioactivity. *Molecules.* 2008. p. 1-2. ISSN 1420-3049. [Consultado el 28 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.mdpi.com/1420-3049/13/8/1671/html

MAINE SEAWEED COUNCIL. [sitio web]. Maine. [Consultado el 23 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.seaweedcouncil.org/what-is-seaweed/

MANDAL, Ananya. ¿Cuál es un macrófago? En: News Medicinal Life Sciences. [sitio web]. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-a-Macrophage-(Spanish).aspx#:~:text=Los%20macr%C3%B3fagos%20son%20las%20c%C3%A9lulas,destruyen%20las%20c%C3%A9lulas%20de%20objetivo.

MARÍN, Alejandro, *et al*. The marine algae *Sargassum* spp. (Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions. *Revista de biología tropical.* 2009, vol. 57. p. 1. [Consultado el 29 de junio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.15517/rbt.v57i4.5464

MILLEDGE, J.J. y HARVEY, P. Golden Tides: Problem or Golden Opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering.* 2016. p. 1-19. [Consultado el 09 de agosto] Disponible en: https://doi.org/10.3390/jmse4030060

MILLEDGE, John, NIELSEN, Brithe y BAILEY, David. High-value products from macroalgae: the potential uses of the invasive brown seaweed, *Sargassum muticum*. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology.* 2015, vol. 15. [Consultado el 25 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282641596_High-Value_Products_from_Macroalgae_The_Potential_Uses_of_the_Invasive_Brown_Seaweed_Sargassum_muticum

NAVARRO, Sandra; ROS, Joandoménec y TEIXIDOR; Irene. Un mundo flotante: los sargazos. En: INVESTIGACIÓN Y CIENCIA. [sitio web], [Consultado el 14 de abril de 2020]. Disponible en:

https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/siete-soluciones-energticas-innovadoras-530/un-mundo-flotante-los-sargazos-8977

NOVILLO, Cristina. Qué es el sargazo. En: Ecología verde. [sitio web]. [Consultado el 14 de abril de 2020]. Disponible en: https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-sargazo-2001.html

ONEMI. [sitio web]. Marejadas. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.onemi.gov.cl/marejadas/

ORDANZA, Mauricio y RINCONES, Raúl. El cultico de las algas marinas: alternativa industrial en acuacultura sustentable a mediano y largo plazo. *CienciaUAT.* 2008, Vol. 3, nro. 2, p. 70. ISSN: 2007-7521. [Consultado el 9 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/405

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. Roma: FAO*,* A guide to the seaweed industry. 2003. [Consultado el 25 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-y4765e.pdf

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDASPARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. La industria de las algas marinas. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: http://www.fao.org/3/y3550s/y3550s04.htm

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. [sitio web]. Roma: FAO*,* The global status of seaweed production, trade and utilization. 2018, vol. 124. [Consultado el 25 de julio de 2020] Disponible en: http://www.fao.org/in-action/globefish/publications/details-publication/en/c/1154074/

PÉREZ, Julián y GARDEY, Ana. Definición de aglutinar. 2017. [Consultado el 25 de agosto de 2020] Disponible en: https://definicion.de/aglutinar/

PÉREZ, Patricia. Obtención de fracciones enriquecidas en compuestos bioactivos a partir de extractos acuosos de Sargassum muticum. Tesis doctoral. Universidad de Vigo. Galicia. 2019. p. 31-36. [Consultado el 29 de julio de 2020]. Disponible en: http://hdl.handle.net/11093/1390

PONCE, Nora, *et al.* Fucoidans from the brown seaweed *Adenocystis utricularis:* extraction methods, antiviral activity and structural studies. *Carbohydrate Research.* 2003, vol. 338, nro. 2, p. 153-165. [Consultado el 27 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/S0008-6215(02)00403-2

QUINTAL, Renan. ¿Escribir sobre sargazo? Esta cozumeleña te da el papel. En: EL FINANCIERO. [sitio web]. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.elfinanciero.com.mx/peninsula/escribir-sobre-sargazo-esta-cozumelena-te-da-el-papel

R.I. El extracto de algas que supera al remdesivir en el bloqueo del virus Covid-19. En: Madri+d. 30, julio, 2020. [Consultado el 26 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.madrimasd.org/notiweb/noticias/extracto-algas-que-supera-remdesivir-en-bloqueo-virus-covid-19

RABANAL, Melissa. Estudio del sistema de polisacáridos del alga parda Dictyota dichotoma y su actividad antiviral. Tesis de Doctorado. Buenos Aires. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Área Ciencias Biológicas. 2015. p. 23. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://doi.org/10.35537/10915/45310

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. [sitio web]. Arribazón. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://dle.rae.es/arribaz%C3%B3n

REDACCIÓN OBRAS. Fabrica ladrillos con sargazo y construye viviendas en Quintana Roo. [sitio web]. [Consultado el 11 de julio de 2020]. Disponible en https://obras.expansion.mx/construccion/2019/03/11/fabrica-ladrillos-con-sargazo-y-construye-viviendas-en-quintana-roo

REN, Beibei; *et al.* Optimization of microwave-assisted extraction of Sargassum thunbergii polysaccharides and its antioxidant and hypoglycemic activities. *Carbohydrate Polymers.* 2017, Vol. 173. ISSN:0144-8617. [Consultado el 26 de agosto de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.094

RENDÓN CASTRILLÓN, Leidy; RAMÍREZ CARMONA, Margarita E. y VÉLEZ SALAZAR, Yesid. Microalgas para la industria alimenticia. Primera edición. Medellín (Colombia): Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.

RENOVARE ®. [sitio web]. León, México. [consultado el 11 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.renovareco.com

ROBLEDO, Daniel; VÁZQUEZ-DELFÍN, Erika. Sargazo, conociendo al “enemigo”. En: Gobierno de México [sitio web]. [Consultado el 15 de abril de 2020] Disponible en: https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/sargazo-conociendo-al-enemigo/

ROSA, Tori. Los ficocoloides en la industria. 2014. [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USIL_4216b94a7a474f65bf0c37f5486c0ab5

SALDARRIAGA-HERNANDEZ, Sara, *et al.* Bioremediation potential of Sargassum sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach. *Science of The Total Environment.* 2020, vol. 715. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136978

SANITAS. [sitio web]. Prostodoncia. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/salud-dental/prostodoncia.html

SANJEEWA, Asanka, *et al*. Bioactive potentials of sulfated polysaccharides isolated from brown seaweed *Sargassum* spp in related to human health applications: A review. *Food Hydrocolloids.* 2018, Vol. 81. p. 200-208. [Consultado el 15 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.040

SARGÁNICO. [sitio web]. Cancún, México. [consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://sarganico.mx/

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. [sitio web]. Gobierno de México, ¿Sabes qué es el sargazo? [Consultado el 14 de abril de 2020] Disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sabes-que-es-el-sargazo?idiom=es

SIGNIFICADOS. [sitio web]. Significado de Escorrentía. [Consultado el 12 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.significados.com/escorrentia/

SILVA, T.M.A.; *et al*. Partial characterization and anticoagulant activity of a heterofucan from the brown seaweed *Padina gymnnospora*. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2005, vol. 38, nro. 4. [Consultado el 28 de julio de 2020] Disponible en: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-879X2005000400005

SMIT, Albertus J. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review. *Journal of Applied Phycology.* 2004. p. 245-262. [Consultado el 25 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000047783.36600.ef

SOSTENIBILIDAD. [sitio web]. ¿En qué consiste la economía circular? [Consultado el 11 de agosto de 2020] Disponible en: https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/

THOMPSON, T.M.; YOUNG, B.R. y BAROUTIAN, S. Pelagic *Sargassum* for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study of Barbados. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, vol. 118. [Consultado el 25 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109564

TIWARI, Archana; KIRAN, Thomas y PANDEY, Anjana. *Algal cultivation for biofuel production.* En: BASILE, Angelo y DALENA, Francesco. Second and third

generation of feedstocks – The evolution of biofuels. India: Elsiever, 2019. ISSN: 978-0-1281-5162-4. [Consultado el 17 de junio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815162-4.00014-8

UNAVARRAI. [sitio web]. Morfología de las plántulas. [Consultado el 12 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.unavarra.es/herbario/htm/plantula_BAMH_01.htm

UNITED NATIONS*.* Seaweeds. En: The first global integrated marine assessment (World ocean assessment I). 2016 [Consultado el 25 de julio de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RPROC/Chapter_14.pdf

URTUVIA, Viviana, *et al*. Bacterial alginate production: An overview of its biosynthesis and potential industrial production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017, Vol. 33, p. 198. [Consultado el 9 de julio de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1007/s11274-017-2363-x

VALIENTE, Oscar y MOGOLLÓN, Edgar. Contenido de ácido algínico, manitol y laminarano en algas pardas de importancia económica. *Instituto Tecnológico de la Producción.* 2013. Vol. 11. ISSN: 1023-7070 [Consultado el 2 de agosto de 2020]. Disponible en: http://repositorio.itp.gob.pe/handle/ITP/51

VIDAL, Efrén. PERÚ – Cultivan algas pardas como insumo de aglutinante orgánico en la elaboración de alimentos balanceados para acuicultura. En: ALTERINFOS AMÉRICA LATINA. [sitio web]. [Consultado el 25 de agosto de 2020]. Disponible en: http://www.alterinfos.org/spip.php?article4377

W RADIO. Señor Sargazo; convierte alga en tabique y construye casa en Quintana Roo. En: W Radio. Ciudad de México. 4, julio, 2019. [Consultado el 30 de julio de 2020]. Disponible en: https://wradio.com.mx/radio/2019/06/04/sociedad/1559676977_865377.html

WIJESINGHE, W. A.J.P y JEON, You-Jin. Biological activities and potential industrial applications of fucose rich sulfated polysaccharides and fucoidans isolated from brown seaweeds: A review. *Carbohydrate polymers.* 2012, vol. 88, nro. 1. [Consultado el 28 de julio de 2020] Archivo pdf. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.12.029

ZARGARZADEH, Mehrzad; *et al.* Biomedical applications of laminarin. *Carbohydrate Polymers.* 2020, Vol. 232. [Consultado el 26 de agosto de 2020] Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115774