



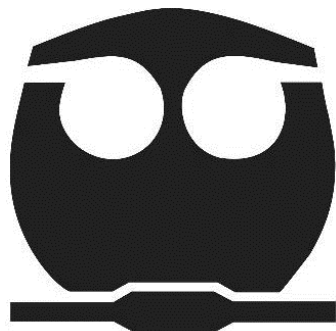
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**SARGAZO: DETERMINACIÓN,
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE Y SEGURIDAD
ALIMENTARIA.**

**ACTIVIDAD DE INVESTIGACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA:

ARLETT GISELA GÓMEZ CARRASCO



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX

AÑO 2022

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesora: María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar

VOCAL: Profesor: J Jesús Recillas Mota

SECRETARIO: Profesora: Minerva Monroy Barreto

1er SUPLENTE: Profesora: Carolina Ávila Flores

2º SUPLENTE: Profesora: José David Chávez Romo

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, UNAM.

ASESORA DEL TEMA:

Minerva Monroy Barreto

SUSTENTANTE:

Arlett Gisela Gómez Carrasco

El contenido de esta Actividad de Investigación está recogido en el artículo *Sargazo, ensayo para medir su capacidad antioxidante y posibles compuestos presentes en el extracto*, *CienciAcierta*, 68, 138-154 del que el sustentante es primer autor, (se adjunta una copia del artículo).

AGRADECIMIENTOS

Tesis realizada con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME 210820: “Sargazo: Contribución de la Química Analítica desde la Docencia e Investigación Formativa”.

Se agradece a J. C. Aguilar Cordero, J J. Recillas Mota, O. Zamora Martínez, F. E. Mercader Trejo, R. Herrera Basurto, I. Zaldivar Coria colaboradores del proyecto y a la Dra. Araceli Peña Álvarez. Y a la Ing. Judit Pérez Zaragoza por sus diseños.

PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

Parte de los resultados de este proyecto se publicaron en los siguientes artículos:

- **Gómez Carrasco, A.G.**, Ramírez Arenas, S., Rodríguez Salazar, M. T. J., Monroy Barreto, M., (2021). Sargazo, ensayo para medir su capacidad antioxidante y posibles compuestos presentes en el extracto. *CienciAcierta*, 68, 138-154.
- Monroy Barreto, M., Rodríguez Salazar, M. T. J., Aguilar Cordero, J. C., Mercader Trejo, F. E., Recillas Mota, J. J., Herrera Basurto, R., Zamora Martínez, O., Zaldívar Coria, I., García Valdés, J. J., Mendoza Solís, E. E., Ramírez Arenas, S., **Gómez Carrasco, A. G.**, Abán Estrella, A. E., Morales Velázquez, A. J., Bernal España, I. P., Gutiérrez Sánchez, C., Skladal Méndez, A., Delgadillo Mendoza, E. D. (2020). 2020: el año que vivimos virtualmente. *Educación Química*, 31(5), 152-158. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.77280>
- Rodríguez Salazar, M. T. J., Monroy Barreto, M., Zamora Martínez, O., Mercader Trejo, F. E., Zaldívar Coria, I., Herrera Basurto, R., García Valdés, J. J., Aban Estrella, A., Skladal Méndez, A., Morales Velázquez, A. J., **Gómez Carrasco, A. G.**, Gutiérrez Sánchez, C., Mendoza Solís, E. E., Bernal España, I. P., Ramírez Arenas, S. (2020). PAPIME 210820: Formación y continuidad a distancia en período de emergencia sanitaria (SARS-CoV2, COVID-19). *Educación Química*, 31(5), 159-161. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.5.77297>

PRESENTACIÓN EN CONGRESO

La difusión del trabajo realizado en este proyecto se presentó en el siguiente congreso:

- XXXIII Congreso Nacional de Química Analítica y XXIII Simposio Estudiantil organizado por la Asociación Mexicana de Química Analítica (AMQA) con presentación del trabajo en modo cártel: “Ensayo del poder de reducción antioxidante del hierro para medir la capacidad antioxidante del sargazo” realizado del 9 al 11 de Junio de 2021 a través de la plataforma Microsoft Teams de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Protocolo de Investigación

1. Resumen.....	8
2. Introducción.....	9
3. Objetivos.....	10
4. Marco teórico.....	11
4.1. Algas.....	11
4.2. Algas pardas.....	12
4.2.1. Propiedades nutricionales y beneficios asociados al consumo de algas.....	12
4.2.2. Composición química.....	12
4.2.2.1. Macronutrientes.....	13
4.2.2.2. Micronutrientes.....	14
4.2.3. Problemática actual.....	14
4.3. Aplicaciones actuales de las algas en la industria alimentaria.....	15
4.4. Antioxidantes presentes en el sargazo.....	18
4.4.1. Polifenoles.....	18
4.4.2. Fucoïdan.....	18
4.4.3. Laminaran.....	19
4.4.4. Cromenos.....	20
4.4.5. Fucoxantina.....	20
4.5. Pruebas para identificar y cuantificar compuestos antioxidantes.....	21
4.5.1. Ensayo de Folin-Ciocalteu.....	21
4.5.2. Ensayo DPPH.....	21
4.5.3. Ensayo ABTS.....	22
4.5.4. Ensayo FRAP.....	22
4.6. Seguridad alimentaria relacionada con el uso del sargazo.....	23
4.6.1. Principales contaminantes.....	23
4.6.2. Principales problemas a la salud.....	24
5. Materiales y métodos.....	24
5.1. Colección de muestra.....	24

5.2. Tratamiento de muestra.....	24
5.3. Preparación del extracto para la determinación de compuestos antioxidantes.....	25
5.4. Método FRAP.....	26
6. Diseño experimental.....	27
7. Revisión bibliográfica preliminar.....	27
8. Artículo publicado.....	35

1. Resumen

El sargazo es un género de macroalgas de la clase de algas pardas, algunas especies de estas macroalgas son consumidas como parte de la dieta debido a que son un reservorio de compuestos biológicamente activos; por ejemplo, ácidos grasos omega-6, antioxidantes, alginatos, carotenoides y compuestos fenólicos. Muchos de estos compuestos presentan propiedades antioxidantes las cuales juegan un importante papel en el tratamiento de algunas enfermedades en procesos de oxidación y envejecimiento como: inflamación crónica, cáncer y desórdenes cardiovasculares.

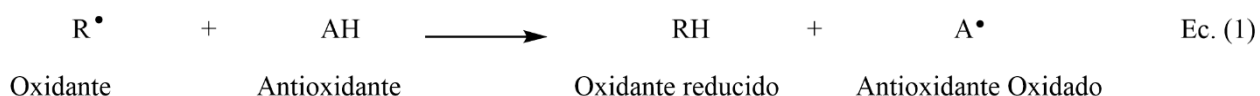
Con el fin de evaluar la capacidad antioxidante se han desarrollado diferentes métodos; principalmente, los basados en una reacción de transferencia de electrón; y, los basados en una reacción de transferencia de átomo de hidrógeno entre el antioxidante y el radical libre. Por sus siglas en inglés, SET y HAT respectivamente.

En este trabajo se presenta la determinación preliminar de antioxidantes en una muestra de Sargazo que se recolectó de la zona costera de Campeche (Champotón) en diciembre de 2019, la muestra se lavó con agua potable y fue refrigerada. La revisión bibliográfica permitió establecer las condiciones experimentales de extracción y análisis. La muestra se secó a la sombra durante 72 horas y posteriormente en la estufa a 80 °C durante 16 h, se realizó la extracción con etanol a temperatura ambiente durante 24 h y la relación disolvente: muestra seca de sargazo fue 1:10. El extracto fue tratado según lo reportado por Benzie y Strain (1996). La capacidad antioxidante se evaluó empleando la capacidad reductora del Fe^{3+} (Método FRAP, por sus siglas en inglés). Se investigaron los posibles compuestos que pueden aportar al valor de la capacidad antioxidante.

2. Introducción

El sargazo es un género de macroalgas de la clase de algas pardas, algunas especies de estas macroalgas son consumidas como parte de la dieta debido a que son un reservorio de compuestos biológicamente activos; por ejemplo, ácidos grasos omega-6, polisacáridos sulfatados, antioxidantes, alginatos, carotenoides y compuestos fenólicos (Pinto, 2020). Muchos de estos compuestos presentan propiedades antioxidantes, es decir, las moléculas son capaces de atrapar el electrón desapareado del radical libre e inactivarlo. Esto evita reacciones de oxidación que juegan un importante papel en los procesos de envejecimiento y en el tratamiento de algunas enfermedades (inflamación crónica, cáncer, desordenes cardiovasculares).

Con el fin de evaluar la capacidad antioxidante se han desarrollado diferentes métodos; entre los que se encuentran los basados en una reacción de transferencia de electrón y los basados en una reacción de transferencia de átomo de hidrógeno entre el antioxidante y el radical libre (Queiroz y Avaca, 2008). Por sus siglas en inglés, SET y HAT respectivamente. Los métodos que se basan en el mecanismo SET involucran una reacción redox (**Ecuación 1**) son muy empleados para determinar la capacidad antioxidante de extractos naturales, debido a que requieren de disoluciones que son sencillas de preparar, las mezclas de reacción son estables y las determinaciones en general emplean un cromóforo (oxidante) que se detecta espectrofotométricamente en el intervalo de luz visible, los métodos más sobresalientes son el ABTS (por su abreviatura del compuesto 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)), DPPH (por su abreviatura del compuesto a 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo) y FRAP (“Ensayo de poder reductor férrico” por sus siglas en inglés).



Ecuación 1. Mecanismo SET.

El presente trabajo se enfocó en realizar una revisión bibliográfica con el objetivo de establecer una metodología para determinar la actividad antioxidante del sargazo, la cual involucra el tratamiento de muestra, la extracción de compuestos antioxidantes y su determinación.

Mediante esta estrategia se planteó y realizó el procedimiento experimental; se evaluaron los resultados obtenidos y se investigaron los posibles compuestos antioxidantes presentes en el extracto obtenido, para después realizar una investigación sobre las aplicaciones reportadas para los compuestos antioxidantes del sargazo en el área de la industria de alimentos, así como algunos ejemplos de compuestos tóxicos que pueden afectar la seguridad alimentaria de la población.

3. Objetivos

- Evaluar la capacidad antioxidante en muestras de sargazo.
- Realizar investigación bibliográfica sobre los métodos de extracción y determinación de antioxidantes en sargazo.
- Desarrollar el método de extracción y determinación de la capacidad antioxidante en muestras de sargazo.
- Identificar los posibles compuestos que aportan actividad antioxidante a muestras de sargazo.

4. Marco teórico

4.1. Algas

Las algas son algunos de los organismos más comunes que habitan la Tierra, son autótrofos, en su mayoría se encuentran presentes en ambientes acuosos. Crecen tanto en aguas dulces como saladas, incluso pueden crecer en condiciones extremas. El cuerpo de la planta varía de estructuras unicelulares a multicelulares sin vasculatura y poca diferenciación en varios sistemas, por lo que se les conoce como talofitas que carecen de raíces, tallo y hojas verdaderas (Hafting *et al.*, 2015).

La morfología y el tamaño de las algas son muy variables; hay especies unicelulares que miden entre 3 y 10 μm y enormes algas acuáticas que alcanzan los 70 m de longitud (El Gamal, 2010). Por lo cual, se clasifican comúnmente en microalgas (unicelulares y microscópicas) y macroalgas (algas acuáticas) (Ścieszka y Klewicka, 2019).

Las microalgas se clasifican tradicionalmente según sus aspectos morfológicos, tipo de metabolitos de reserva, componentes de la pared celular y pigmentos. Dentro de esta clasificación se encuentran las diatomeas o los dinoflagelados, los cuales pueden tener flagelos (estructuras que permiten que se desplacen en el medio acuático), además de las cianobacterias, conocidas genéricamente como algas verde-azuladas (Ibáñez y Guerrero, 2017).

Las macroalgas se clasifican en función de sus características químicas y morfológicas, en particular, la presencia de pigmentos específicos: se dividen en algas pardas (Phaeophyceae), donde el color pardo o amarillo-pardo es el resultado de la presencia de fucoxantina, este compuesto es un carotenoide muy importante por sus efectos favorables a la salud, algas rojas (Rhodophyceae), con predominio de ficoeritrina y ficocianina, los cuales son pigmentos que les confieren su característico color rojo, y las algas verdes (Chlorophyceae) que contienen clorofila A y clorofila B, los pigmentos principales para poder llevar a cabo la fotosíntesis (Ścieszka y Klewicka, 2019).

4.2. Algas pardas

Las algas pardas, el segundo grupo más grande de algas, son fuente excelente de diversos compuestos bioactivos como polifenoles, péptidos, carotenoides y polisacáridos (Fauziee *et al.*, 2021). Obtienen su característico color marrón de las grandes cantidades de carotenoides, fucoxantina y de la presencia de varios taninos. Las algas pardas florecen en regiones templadas a subpolares donde exhiben la mayor diversidad de especies y expresión morfológica (Qin, 2018), acumulan el polisacárido laminarina como producto de almacenamiento, el cual es un polímero insoluble constituido principalmente por glucanos con enlaces β . La pared celular de las algas está formada por una capa interna de fibras de celulosa y una capa externa de mucílago, que comprende sustancias coloidales denominadas ficocoloides, como los alginatos, que son sales de ácido algínico; y la sustancia fucoïdan, que se compone principalmente de polisacáridos sulfatados (Pereira y Neto, 2014).

4.2.1. Propiedades nutricionales y beneficios asociados al consumo de algas

Las algas son bien conocidas por su rica composición de nutrientes como vitaminas, lípidos, proteínas, carbohidratos y minerales, esto hace que estos organismos sean una fuente de alimento buena y saludable (Pereira y Neto, 2014). Se ha demostrado que los alginatos son potencialmente beneficiosos para la salud intestinal, ya que disminuyen el tiempo de tránsito intestinal, lo que resulta en un factor positivo en la prevención del cáncer de colon (MacArtain *et al.*, 2007). De igual forma, las algas marinas han sido descritas como una fuente segura y natural de diversos minerales como el calcio, hierro y cobre, así como un alto contenido de vitaminas que aportarían mucho a una dieta equilibrada si se consumiera con regularidad.

4.2.2. Composición química

El valor nutricional de las algas marinas difiere principalmente de los siguientes factores: especie, estación del año y lugar de recolección (Patarra *et al.*, 2011; Stengel *et al.*, 2011). La siguiente información proporciona una descripción general del valor alimenticio de una variedad de algas marinas.

4.2.2.1. Macronutrientes

Las algas tienen un alto contenido de agua, con valores que van desde el 60% hasta el 94% de la biomasa fresca total. Los componentes principales y estructurales del tejido de las algas son los polisacáridos que pueden constituir hasta el 76% del peso seco de las algas (Holdt y Kraan, 2011).

Muchos polisacáridos son específicos de cada especie y consisten esencialmente en polisacáridos de la pared celular, celulosas y hemicelulosas; polisacáridos de almacenamiento (laminaran) y también fracciones intercelulares (alginatos y fucoidan) (Bocanegra *et al.*, 2009). Estos compuestos funcionan como fibras dietéticas solubles y promueven altos niveles de saciedad con impactos positivos en la salud intestinal (Jaspers y Folmer, 2013).

Los ácidos aspártico y glutámico juntos componen generalmente una gran parte de la fracción de aminoácidos en las algas con propiedades específicas para el sabor; el ácido glutámico es el componente principal del “sabor umami”; y, la fracción de aminoácidos libres se compone por alanina y taurina, estos confieren específicamente el “sabor nori”. En la evaluación del valor nutricional de las proteínas, denominado “puntuación de aminoácidos”, las proteínas de las algas pardas tienen la más baja puntuación de digestibilidad, esto puede ser por la presencia antagónica de los polifenoles (Holdt y Kran, 2011).

El contenido de proteína es bajo en las algas pardas (3 a 16% de peso seco) en comparación con las algas rojas y verdes (10 a 47% de peso seco), estos niveles de proteínas se ven muy afectados por la disponibilidad de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y, por lo tanto, pueden ser muy diferentes según las condiciones del lugar donde se produce el alga (Fleurence, 1999; Galland-Irmouli *et al.*, 1999). Otras proteínas presentes en las algas rojas y verde-azuladas son las ficobiliproteínas (ficocianina en algas verdes-azuladas, ficoeritrina en algas rojas), un grupo de proteínas involucradas en la fotosíntesis con altas propiedades antioxidantes y contra los rayos UV, por lo que son utilizadas por las algas para recolectar luz o protegerse de altas irradiaciones (Figuerola *et al.*, 2003; Ibáñez y Guerrero, 2017; Pereira, 2011).

En general, las algas marinas tienen un contenido de lípidos muy bajo, los valores normales pueden llegar hasta el 4.5% (peso seco) (Dawczynski *et al.*, 2007; Bocanegra *et al.*, 2009, Holdt y Kraan, 2011). La fracción lipídica de las algas pardas se compone principalmente de ácidos grasos poliinsaturados esenciales (PUFA por sus siglas en inglés), principalmente por ácido linoleico (C18: 2n-6, LA por sus siglas en inglés), ácido araquidónico (C20: 4n-6, DHA por sus siglas en inglés) y ácido eicosapentaenoico (C22: 5n-3, EPA por sus siglas en inglés). El colesterol es uno de los principales esteroides presentes en todos los grupos de algas.

Además de eso, las algas pardas son ricas en otros esteroides C29, particularmente fucosterol e isofucosterol, respectivamente (Holdt y Kraan, 2011; Lomartire *et al.*, 2021).

4.2.2.2. Micronutrientes

Las algas son ricas en minerales fundamentales como hierro, zinc, yodo, calcio, potasio, sodio, magnesio, cobre y selenio, contribuyendo a una dieta sostenible. Las algas pardas son fuentes particularmente buenas de magnesio, cobre, hierro y yodo.

Varias algas también pueden contener muchas formas de antioxidantes, como vitaminas y pigmentos. Entre las vitaminas que se pueden encontrar son A, B, C y E; algunas algas también aportan vitamina B12, una de las pocas fuentes vegetales y una fuente alternativa de esta vitamina para vegetarianos y veganos. Otros nutrientes que también pueden estar presentes en niveles significativos son: β -caroteno, luteína y fucoxantina (Hafting *et al.*, 2015).

4.2.3. Problemática actual

El género *Sargassum* está representado en todas las costas de México. Las especies más representativas que conforman los mantos flotantes en las costas del Atlántico son *Sargassum natans* y *S. fluitans* (Muñoz, 2013). Antes de 2011, había pequeñas afluencias de sargazo, cuya fuente era el Mar de los Sargazos, una región ubicada en el Atlántico Norte, entre los Estados Unidos y Europa, frente a África Occidental y la desembocadura del río Congo, para llegar al mar Caribe y el Golfo de México. Ya en la segunda mitad del 2014, grandes cantidades de sargazo comenzaron a llegar al mar Caribe y aumentaron durante el verano de 2015.

Las masas de sargazo en descomposición en las playas hicieron que las aguas cercanas a la costa del Caribe, normalmente azules, se volvieran marrones; creando las llamadas “mareas marrones” con graves consecuencias ecológicas para las áreas afectadas (García *et al.*, 2020).

En 2020, Leal *et al.*, señalaron que en México el gobierno federal asignó \$3.2 millones de dólares para la limpieza y extracción de sargazo en 2015, aun cuando la cantidad de algas marinas excedió la capacidad de extracción. A lo largo de estos años, el exceso de sargazo en las costas del Caribe ha estado causando alteraciones en los cuerpos acuáticos debido a la acumulación de nutrientes en las aguas, lo cual genera impactos incuantificables a la fecha. Asimismo, los sistemas arrecifales costeros y la biodiversidad asociada a ellos se están viendo afectados; se ha registrado un incremento en la muerte de organismos después de que el sargazo causó eventos en los cuales las concentraciones de oxígeno bajaron de forma dramática (Rodríguez *et al.*, 2019).

Con el objetivo de aprovechar el sargazo que se ha acumulado en las costas del Caribe mexicano, se han desarrollado metodologías para obtener materias primas que puedan ser utilizadas en la industria química y alimentaria.

4.3. Aplicaciones actuales de las algas en la industria alimentaria

La extracción de polisacáridos es la principal industria de transformación relacionada con las algas. Estos hidrocoloides son moléculas de cadena larga extraídas de especies de algas rojas (agar y carragenina) y pardas (alginatos), que se utilizan principalmente en la industria alimentaria como agentes texturizantes, espesantes, estabilizantes y emulsionantes.

Se demostró que los pigmentos de algas y su capacidad antioxidante eran de considerable interés para la industria alimentaria. El β -caroteno fue un gran éxito de producción a partir de la microalga marina *Dunaliella salina* (Chlorophyta). Este carotenoide se utiliza como aditivo alimentario, para dar más coloración naranja al alimento y conservar mejor el producto por su capacidad antioxidante. Este compuesto también se puede encontrar como complemento alimenticio y hay muchos estudios publicados que se refieren al β -caroteno como un buen antioxidante para la salud humana entre otros carotenoides (Dufossé *et al.*, 2005, Spolaore *et al.*, 2006).

En los alimentos para consumo humano, las algas se han introducido en productos cárnicos y de panadería. La adición de algas, incluidas *Enteromorpha*, *Himanthalia elongata*, *Undaria pinnatifida* y *Porphyra umbilicalis*, provocó cambios en el potencial antioxidante de la carne y los productos a base de cereales (Gupta y Abu-Ghannam, 2011). Para esto se diseñó un modelo de emulsiones cárnicas con bajo contenido en grasas y sal, con la adición de varios compuestos bioactivos de algas marinas, añadiendo a la carne las siguientes algas comestibles: *H. elongata* (también llamado “sea spaghetti”), *U. pinnatifida* (wakame), *P. umbilicalis* (algas Nori), lo que resultó en un aumento en los niveles de potasio, calcio, magnesio y manganeso. Además, la presencia de *P. umbilicalis* aumentó los niveles de serina, glicina, alanina, valina, tirosina, fenilalanina y arginina. La adición de *H. elongata* aumentó el contenido de aminoácidos azufrados en un 20%. Por otro lado, el enriquecimiento de la carne con algas suministró compuestos polifenólicos solubles, que aumentaron el potencial antioxidante de todo el sistema (López-López *et al.*, 2009).

Los productos a base de cereales son comúnmente aceptados por su fácil proceso de preparación, por su practicidad y bajo costo; sin embargo, podrían mejorarse sus propiedades nutricionales. Por esa razón, la introducción de aditivos ricos en proteínas, como las algas, aumentaría la calidad de la pasta. Se realizaron estudios de algas comestibles *U. pinnatifida* (Wakame), ricas en fucoxantina, y concluyeron que la pasta con un 10% de algas era aceptable para los sentidos. Además, la presencia de las algas reforzó la interacción entre los gránulos de almidón y la matriz proteica, lo que resultó en una mejor calidad de la pasta (Prabhasankar *et al.*, 2009).

El pan es otro producto perfecto a base de cereales que puede ser un portador de varios componentes bioactivos, incluidas las algas. En un estudio la calidad del pan se mejoró mediante la adición de algas verdes *Ulva lactuca* y un 2.5% de *Laminaria algae* en polvo (Cofrades *et al.*, 2013). Otros estudios confirmaron que era posible agregar algas *Ascophyllum nodosum* a alimentos básicos, como el pan, a un nivel del 4% del pan integral (Hall *et al.*, 2012).

En la creación de nuevos productos funcionales para consumo humano Velasco-González *et al.*, 2013 estudiaron la preparación de galletas con harinas de trigo comerciales adicionadas con el alga *Sargassum spp*, recolectada en la Península de Baja California, México; resultando en una buena alternativa para el consumo de algas en el mercado, cuyo sabor presentó niveles de aceptación del 72%, a la vez que aportan 3.2 veces más sales minerales y 2.7 veces más de fibra dietética comparado con las galletas elaboradas solamente con harina de trigo. Es importante resaltar que mostró una aceptación del 54% por el bajo contenido de azúcar, pero esto podría mejorarse utilizando edulcorantes lo cual, junto con la suavidad de las galletas representaría una posibilidad para las personas de la tercera edad, sin embargo, el estudio no mostró resultados de seguridad alimentaria, por lo que podría resultar dañino para este sector de la población en caso de presentar compuestos tóxicos.

Las algas también se utilizan en la industria de la alimentación animal, se ha demostrado que es un buen método para mejorar la salud animal y, por lo tanto, también mejorar la calidad de la carne y los productos cárnicos. En un estudio de He *et al.*, 2002 alimentaron a los cerdos con un alimento que contenía *Laminaria digitata* y demostraron que la suplementación con algas puede provocar un aumento del contenido de yodo en los músculos, el tejido adiposo, el corazón, el hígado y los riñones, y puede aumentar la ganancia diaria de peso corporal en un 10%.

De igual forma se realizó un estudio (Carrillo *et al.*, 2012) con la adición del alga *Sargassum spp*. en la dieta de gallinas ponedoras con el objetivo de reducir el contenido de colesterol del huevo. Los resultados mostraron que adicionar 4%, 6% y 8% del alga en la dieta de las gallinas ponedoras reduce significativamente el contenido de colesterol en el huevo y afecta favorablemente el color de la yema. Aunque se realizó un análisis químico del alga marina donde se determinó que tenía un alto contenido mineral comparado con los valores de proteína y extracto etéreo, todavía hace falta estudiar los minerales y evitar una posible contaminación con metales o sustancias tóxicas que puedan limitar su uso.

4.4. Antioxidantes presentes en el sargazo

Las algas marinas producen una variedad de metabolitos secundarios, muchos de los cuales han demostrado tener beneficios para la salud humana capaces de actuar como antioxidantes, antitumorales, inmunidad, antienvjecimiento, anticoagulantes, antivirius, antibacterianos, etc. (Zhang *et al.*, 2020).

4.4.1. Polifenoles

Las sustancias fenólicas están mejor asociadas con la salud humana, en las algas pardas se conocen como florotaninos y son potentes antioxidantes. Estos compuestos son exclusivamente polímeros de floroglucinol (**Figura 1**), son estructuralmente menos complejas que otros polifenoles donde su unidad base (monómero) es el anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo incluyendo a los derivados funcionales. En las algas pardas, los florotaninos pueden tener concentraciones de 0.5% a 2.5% (peso seco), pero varía según diversos factores: el hábitat, el momento de la cosecha, la exposición a la intensidad de la luz y la estación del año (Lomartire *et al.*, 2021; Targett *et al.*, 1992). La función biológica de los florotaninos son proteger a las algas marinas de la radiación UV, el estrés ambiental y contribuir a la resistencia de la pared celular (Lomartire *et al.*, 2021; Melanson y MacKinnon, 2015).

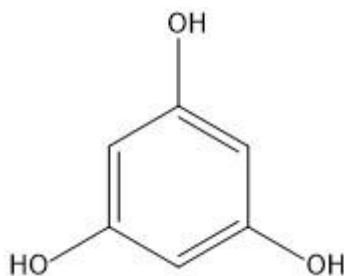


Figura 1. Estructura del floroglucinol (1,3,5 trihidroxibenceno). Recuperado de Fisher Scientific.

4.4.2. Fucoïdan

El fucoïdan, también conocido como fucanos sulfatados, es un heteropolisacárido sulfatado natural soluble en agua, que existe en el tejido intersticial o en la matriz mucosa de las algas pardas. La composición de fucoïdan es compleja. La estructura del núcleo se compone principalmente de fucosa y ácido sulfúrico, junto con galactosa, ramnosa, xilosa, manosa y ácido urónico, etc.

Sólo se ha descubierto la estructura de los compuestos altamente purificados, pero la estructura general del fucoidan aún no está clara (**Figura 2**) (Zhang *et al.*, 2020).

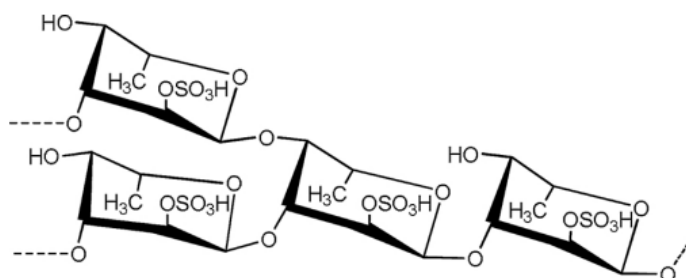


Figura 2. Presunta estructura del fucoidan. Recuperado de Zhang *et al.*, 2020.

Se ha reportado una amplia gama de actividades biológicas para el fucoidan y sus derivados de *Sargassum sp.* y otras algas pardas; más considerablemente efectos antioxidantes, anticoagulantes, anticancerígenos y antiinflamatorios. Además, su actividad está estrechamente relacionada con su peso molecular, contenido de sulfato, ubicación y otros factores estructurales (Hifney *et al.*, 2016).

4.4.3. Laminaran

El laminaran es otro polisacárido de molécula pequeña poco común, se compone de glucanos lineales y manitol con enlaces β -1,3 (**Figura 3**); además, tiene forma soluble e insoluble y su función es similar al almidón vegetal (Fauziee *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020). La solubilidad del laminaran está determinada por el grado de ramificación: el laminaran con ramificación más alta se disuelve más fácilmente en agua fría en comparación con el laminaran con menos ramificación (Sanjeewa *et al.*, 2017). Por lo general, el laminaran se encuentra en la pared celular de las algas pardas, junto con el fucoidan, son la principal reserva de carbohidratos de las especies de algas pardas. En los últimos años, las investigaciones sugieren que el laminaran puede usarse para desarrollar alimentos funcionales o nutraceuticos debido a los beneficios para la salud comprobados, como las propiedades anticancerígenas, antioxidantes e inmunomoduladoras (Park *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2013).

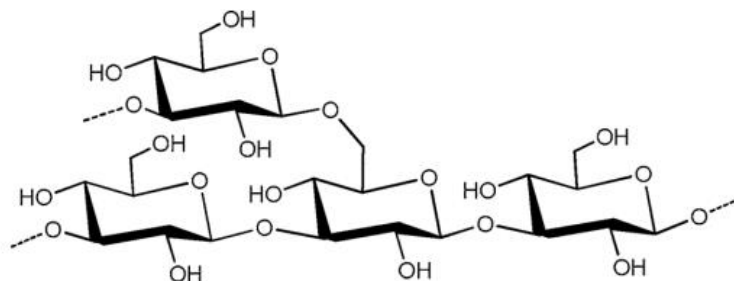


Figura 3. Presunta estructura del laminaran. Recuperado de Zhang *et al.*, 2020.

4.4.4. Cromenos

Varios metabolitos encontrados en las algas pardas son derivados del cromeno (benzopirano), los cuales poseen propiedades fotoquímicas, exhiben citotoxicidad y actividad antioxidante (Hwa *et al.*, 2005). También se ha reportado que la sustitución en el núcleo de cromeno con diferentes grupos aumenta la capacidad de la molécula para prevenir enfermedades, en sargazo se han encontrado cromanoles como los sargacromanoles (Li *et al.*, 2017; Im y Seo, 2011), y el mojabancromanol (Herath *et al.*, 2020) (**Figura 4**).

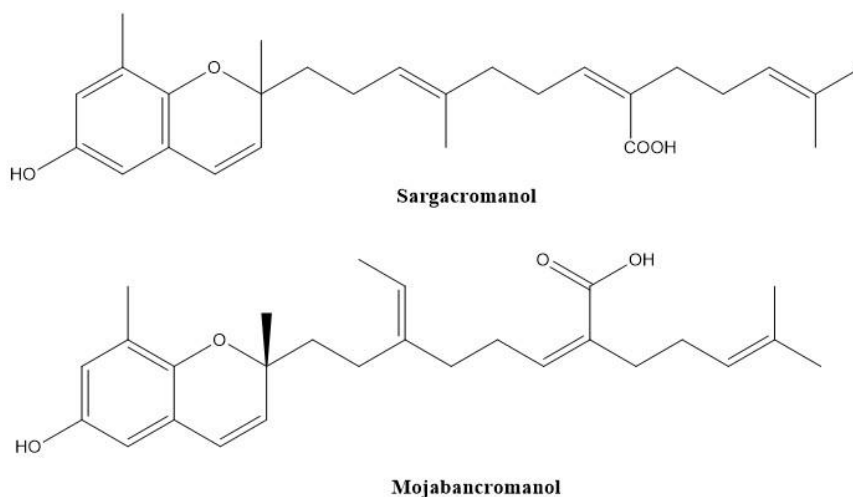


Figura 4. Estructuras de derivados del cromeno. Recuperado de Lim *et al.*, 2019 y Cho *et al.*, 2008.

4.4.5. Fucoxantina

La fucoxantina es el pigmento encargado de la coloración marrón intensa de las algas pardas, y su estructura es la responsable de su importante actividad antioxidante (**Figura 5**). Es considerada como un agente preventivo frente a diversas patologías debido a su capacidad para neutralizar el efecto dañino de los radicales libres a nivel intracelular (Restrepo, 2015).

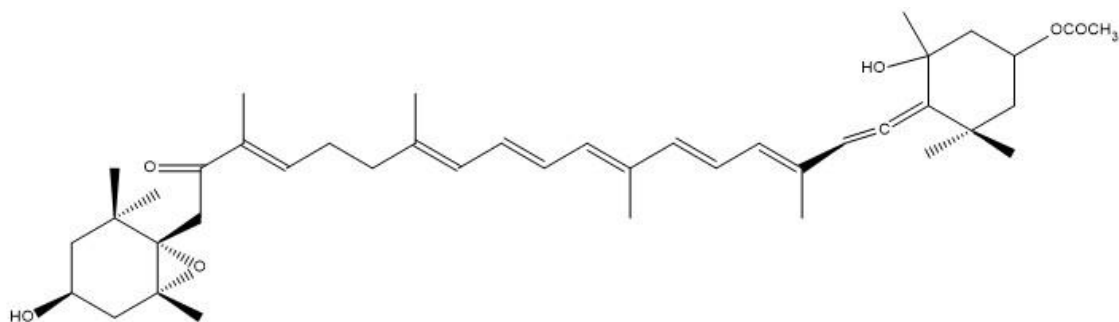


Figura 5. Estructura de la fucoxantina. Recuperado de Mikami y Hosokawa, 2013.

4.5. Pruebas para identificar y cuantificar compuestos antioxidantes

4.5.1. Ensayo de Folin-Ciocalteu

El método de Folin-Ciocalteu es una técnica analítica para la determinación de polifenoles totales en materiales biológicos. La precisión de los resultados obtenidos con este método está determinada por los estándares equivalentes utilizados, el orden en que se agregan los reactivos y la preparación del reactivo de Folin-Ciocalteu, que contiene molibdeno VI (Folin y Ciocalteu, 1927). La reacción que se lleva a cabo es una reducción de Mo^{6+} a Mo^{5+} dando lugar a un complejo de color azul intenso que se puede medir ópticamente a 730 nm (Huang *et al.*, 2005).

Una de las principales ventajas del método es que puede ser utilizado para caracterizar vinos y licores, jugos de frutas, tejidos vegetales y productos similares. Por otro lado, los resultados pueden verse afectados por otras moléculas reductoras no fenólicas como: azúcares, aminos aromáticas, dióxido de azufre, ácido ascórbico, ácidos orgánicos y hierro (II). Por lo que se requiere corregir las sustancias interferentes para evitar el sesgo debido a estas sustancias (Chen *et al.*, 2015).

4.5.2. Ensayo DPPH

Este método permite la determinación de antioxidantes hidrofóbicos. La molécula 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) es conocida como un radical libre estable (DPPH^\bullet), este radical es soluble en metanol y presenta un color violeta intenso (**Figura 6**). Este color se atenúa si el DPPH^\bullet reacciona con un compuesto antioxidante (AH) este cambio se emplea para la determinación de la capacidad antioxidante (Brand-Williams *et al.*, 1995).

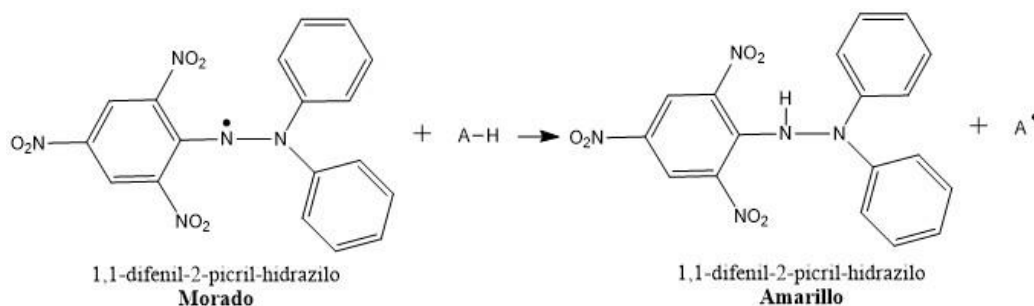


Figura 6. Ensayo DPPH. Recuperado de Bohórquez, 2016.

4.5.3. Ensayo ABTS

Este método permite realizar la determinación de antioxidantes hidrofílicos e hidrofóbicos, para ello se genera el radical $ABTS^{+\bullet}$ por medio químico o enzimático, el cual es de color verde-azul generado por una reacción de oxidación del $ABTS^{+\bullet}$ con persulfato de potasio y es soluble en medios polares y apolares (Bohórquez, 2016). La adición del antioxidante al catión radical disminuye el color y se relaciona con la inhibición del radical (**Figura 7**).

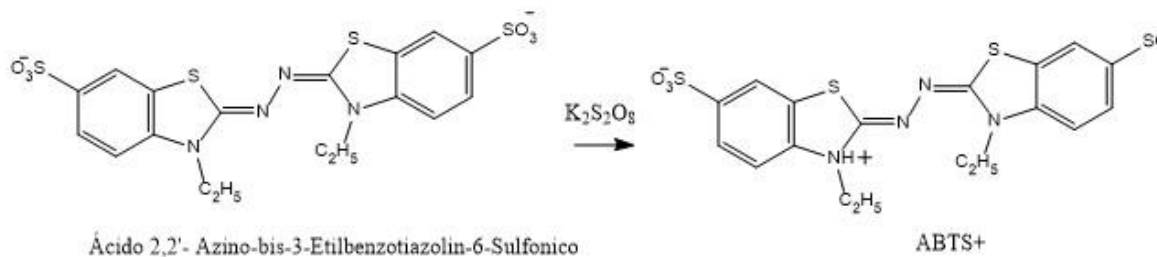


Figura 7. Estructura del ABTS y $ABTS^{+\bullet}$. Recuperado de Bohórquez, 2016.

4.5.4. Ensayo FRAP

El ensayo FRAP mide en presencia de un antioxidante la reducción del complejo de hierro férrico y una triazina Fe^{3+} -TPTZ a su forma ferrosa Fe^{2+} -TPTZ que es de un color azul intenso (**Figura 8**). El incremento de color (absorbancia) está relacionado con el poder reductor de los antioxidantes donantes de electrones presentes en el medio de reacción (Benzie y Strain, 1996).

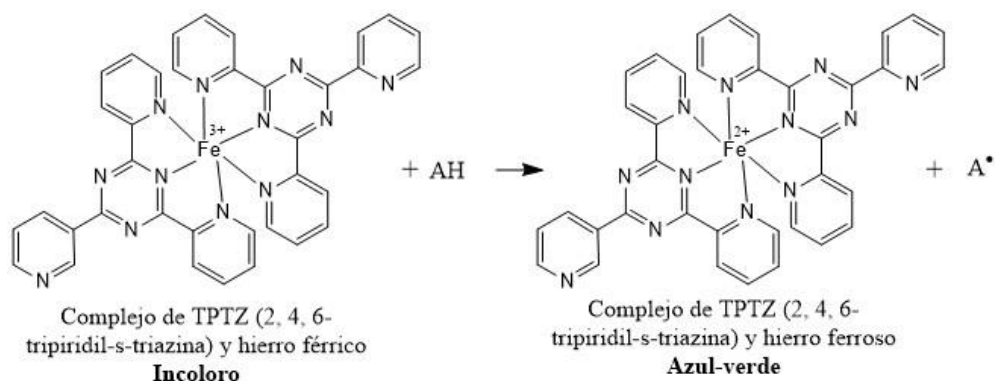


Figura 8. Ensayo FRAP. Recuperado de Benzie y Strain, 1996.

Existen varios ensayos de capacidad antioxidante rápidos y consistentes, cada uno de ellos presenta sus ventajas y desventajas, por lo que lo mejor sería realizar varios métodos en lugar de enfocarse en una única prueba. En este caso, la propuesta fue realizar el desarrollo de la metodología para el método FRAP debido a que tiene un mecanismo de transferencia de electrones, a diferencia de otros métodos donde se produce captura de radicales libres, por lo cual puede ser combinado con otros métodos, además es un método accesible y presenta buenos resultados.

4.6. Seguridad alimentaria relacionada con el uso del sargazo

Los estudios más representativos citados en este trabajo indican que el sargazo es una fuente rica de compuestos antioxidantes, así como de otros compuestos bioactivos, por ejemplo: Cho *et al.*, 2007; Fauzief *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020; haciéndolos candidatos para ser utilizados como complementos alimenticios, fuentes de vitaminas o aditivos alimentarios, por ejemplo: Cofrades *et al.*, 2013; Hifney *et al.*, 2016; Holdt *et al.*, 2011; López-López *et al.*, 2009; Wijesekara *et al.*, 2011; sin embargo, también se debe considerar que el sargazo posee una alta capacidad de absorción que puede conducir a una alta acumulación de metales tóxicos (Paz *et al.*, 2019) y compuestos aromáticos tóxicos (Navarro *et al.*, 2017).

4.6.1. Principales contaminantes

Los metales pesados como cadmio, plomo, mercurio y arsénico pueden estar presentes en las algas y su concentración depende de diversos factores, de los cuales la presencia de metales pesados en el agua circundante y la capacidad de absorción de las algas son relevantes (Banach *et al.*, 2020).

En la industria de la acuicultura, los plaguicidas organofosforados, carbamatos y piretroides se utilizan para el control de plagas, por lo que sus residuos se pueden encontrar en el ambiente marino (García-Rodríguez *et al.*, 2012). Por ejemplo, dada la hidrofobicidad y persistencia de los plaguicidas organoclorados, estos tienden a asociarse con partículas como las algas marinas, bioacumulándose así en la cadena alimentaria y afectando potencialmente la salud humana a través de la exposición a alimentos contaminados (Banach *et al.*, 2020).

De igual forma pueden encontrarse bacterias patógenas como *Salmonella*, *Bacillus*, *Escherichia coli* patógena, *Listeria*, *Staphylococcus aureus* o *Vibrio* patógeno, los cuales podrían representar peligros importantes relacionados con el consumo seguro de algas marinas (Lytou *et al.*, 2021).

4.6.2. Principales problemas a la salud

La intoxicación por metales tóxicos en el ser humano es un problema de salud pública, que depende de varios factores como: el estado químico del metal, vía de absorción y la concentración del elemento químico, siendo capaz de producir efectos tóxicos a la salud humana, como daños cerebrales, lesiones óseas, de riñón, hígado, y pulmonares; además puede afectar a los sistemas nervioso, reproductor e inmune y en muchos casos producir cáncer y muerte (Metales tóxicos en alimentos, 2017).

El cadmio tiene efectos tóxicos debido a su alta vida media y su bioacumulación, su naturaleza divalente le otorga la capacidad de formar complejos de coordinación estables con biomoléculas, alterando su funcionamiento. Este metal afecta principalmente el sistema renal, provocando daños irreversibles en los túbulos renales, los cuales están implicados en los mecanismos de absorción de nutrientes (Paz *et al.*, 2019).

Otro metal neurotóxico, el plomo, tiende a acumularse en el organismo provocando graves daños en el sistema nervioso central, especialmente en niños en desarrollo y fetos; también puede causar alteraciones del sistema gastrointestinal y enfermedad de Alzheimer (Rubio *et al.*, 2005).

El mercurio tiene una alta toxicidad y una marcada tendencia a acumularse, sin embargo, las concentraciones de mercurio en las algas varían según el tipo, y algunos estudios informan un contenido más alto en las algas pardas que en las algas rojas (Banach *et al.*, 2020).

Los efectos tóxicos de este elemento están relacionados con la forma química en la que se encuentra, así como la vía de entrada al organismo, cuando la entrada es por el tracto digestivo el metilmercurio es el compuesto de mercurio de mayor impacto y este se acumula en los tejidos nerviosos (Paz *et al.*, 2019).

5. Materiales y métodos

5.1. Colección de muestra

La muestra de Sargazo se recolectó de la zona costera de Campeche (Champotón) en diciembre de 2019, esta se lavó con agua potable en el sitio de muestreo y se transportó al laboratorio en bolsas de polietileno estériles.

5.2. Tratamiento de muestra

Como en la mayoría de los trabajos reportados del sargazo se realiza un tratamiento de secado al aire (Boi *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2019) o secado en estufa (Norra *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2016), se propuso un secado a la sombra durante 72 horas y posteriormente en la estufa a 80 °C durante 16 horas.



Figura 9. Muestra de sargazo seco y extracto de etanol obtenido

5.3. Preparación del extracto para la determinación de antioxidantes

De igual forma el disolvente más utilizado en la bibliografía consultada y que mostró mejores resultados es el etanol (Boi *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2019) esto puede ser debido a que el proceso de extracción se ve favorecido por la polaridad del disolvente aumentando la cantidad de compuestos fenólicos extraídos del sargazo.

Así que se propuso una extracción con dicho disolvente a temperatura ambiente durante 24 horas utilizando una relación disolvente: muestra seca de sargazo de 10:1 (Cho *et al.*, 2007; Dang *et al.*, 2018).

5.4. Método FRAP

La capacidad antioxidante se determinó, según lo reportado por Benzie y Strain (1996), con algunas modificaciones. Para preparar el reactivo del método FRAP se elaboraron las siguientes disoluciones: a) TPTZ (2, 4, 6- tripiridil-s-triazina) 10 mM en ácido clorhídrico 40 mM; b) cloruro férrico (20 mM) y c) buffer de acetatos 300 mM (pH=3.6) las cuales se mezclan en una relación de 1:1:10, respectivamente. Se deben medir 3.9 mL del reactivo FRAP y mezclar con 500 μ L del extracto de etanol obtenido. También se propone utilizar ácido gálico como control positivo (**Figura 10a**), se preparan estándares de 5 a 300 μ M Fe^{2+} aproximadamente y los resultados se expresan en $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$ muestra seca.

a)



b)

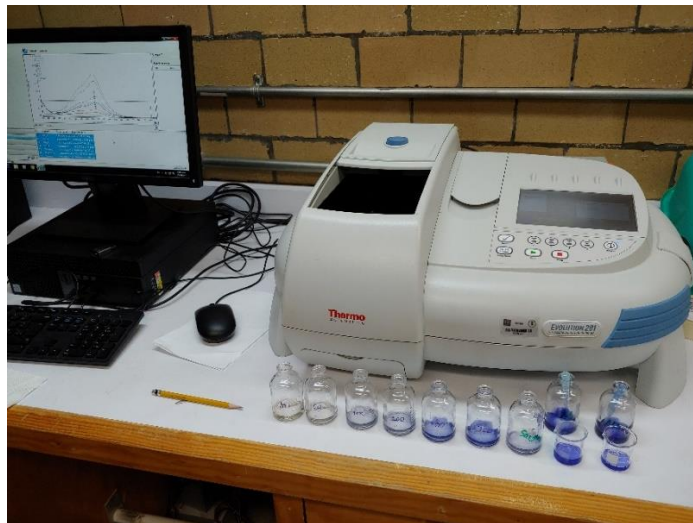


Figura 10. a) Coloración obtenida después de añadir el reactivo FRAP al control positivo y b) Equipo utilizado para la evaluación del método FRAP.

6. Diseño experimental

Bajo las condiciones experimentales propuestas, se realizó el análisis de la capacidad antioxidante en muestras de sargazo. Los datos obtenidos se procesaron y se obtuvo un resultado, finalmente debido a la situación de trabajo a distancia nos enfocamos a realizar una investigación bibliográfica para identificar y evaluar los posibles compuestos antioxidantes presentes en el sargazo.

7. Revisión bibliográfica preliminar

- Banach, J. L., Hoek-van den Hil, E. F., Van der Fels-Klerx, H. J. (2020). Food safety hazards in the European seaweed chain. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 332-364
- Benzie, I. F. F., Strain, J. J. (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70–76.
- Bohórquez Fajardo, R. (2016). *Determinación de actividad antioxidante de extractos de hojas de Diplostegium phyllicoides (Kunth) Wedd.* (Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales). Repositorio Institucional - Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Boi, V. N., Cuong, D. X., Vinh, P. T. (2017). Effects of extraction conditions over the phlorotannin content and antioxidant activity of extract from brown algae *Sargassum serratum* (Nguyen Huu Dai 2004). *Free Radicals & Antioxidants*, 7(1), 115-122.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995) Use of a free Radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Carrillo, S., Bahena, A., Casas, M., Carranco, M. E., Calvo, C. C., Ávila, E., Pérez-Gil, F. (2012). El alga *Sargassum* spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(2), 181-186.
- Chen, L. Y., Cheng, C. W., Liang, J. Y. (2015). Effect of esterification condensation on the Folin–Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. *Food chemistry*, 170, 10-15.

- Cho, S. H., Cho, J. Y., Kang, S. E., Hong, Y. K., Ahn, D. H. (2008). Antioxidant activity of mojabanchromanol, a novel chromene, isolated from brown alga *Sargassum siliquastrum*. *Journal of Environmental Biology*, 29, 479-484.
- Cho, S., Kang, S., Cho, J., Kim, A., Park, S., Hong, Y., A, D. (2007) The antioxidant properties of brown seaweed (*Sargassum siliquastrum*) extracts. *Journal Medicinal Food*, 10(3), 479-485.
- Cofrades, S., Serdaroğlu, M., Jiménez-Colmenero, F. (2013). Design of healthier foods and beverages containing whole algae. En Domínguez H., *Functional ingredients from algae for foods and nutraceuticals* (pp.609-633). Woodhead Publishing.
- Dang, T.T., Bowyer, M.C., Van Altena, I. A., Scarlett, C.J. (2018) Optimum conditions of microwave-assisted extraction for phenolic compounds and antioxidant capacity of the brown alga *Sargassum vestitum*. *Separation Science and Technology*, 53(11), 1711–1723.
- Dufossé, L., Galaup, P., Yaron, A., Arad, S. M., Blanc, P., Murthy, K. N. C., Ravishankar, G. A. (2005). Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality? *Trends in Food Science & Technology*, 16(9), 389-406.
- El Gamal, A. A. (2010). Biological importance of marine algae. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 18 (1), 1–25.
- Fauziee, N. A. M., Chang, L. S., Mustapha, W. A. W., Nor, A. R. M., Lim, S. J. (2021). Functional polysaccharides of fucoidan, laminaran and alginate from Malaysian brown seaweeds (*Sargassum polycystum*, *Turbinaria ornata* and *Padina boryana*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 167, 1135-1145.
- Figueroa, F.L., Escassi, L., Pérez-Rodríguez, E., Korbee, N., Gelies, A.D., Johnsen, G. (2003). Effects of short-term irradiation on photoinhibition and accumulation of mycosporinelike amino acids in sun and shade species of the red algal genus *Porphyra*. *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*, 69(1), 21–30.
- Fisher Scientific. *Floroglucinol*. Recuperado el 24 de Febrero de 2022 de <https://www.fishersci.es/shop/products/phloroglucinol-anhydrous-98-thermo-scientific/p-7028278>

- Fleurence, J. (1999). Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 25–28.
- Folin, O., Ciocalteu, V. (1927). On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 73(2), 627-650.
- Galland-Irmouli, A.V., Fleurence, J., Lamghari, R., Luçon, M., Rouxel, C., Barbaroux, O., Bronowicki, J.P., Villaume, C., Guéant, J.L. (1999). Nutritional value of proteins from edible seaweed *Palmaria palmata* (dulse). *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 10, 353–359.
- García, S. M., Graham, C., Vera, E., Escalante, M. E., Álvarez, F. L., I. van Tussenbroek, B. (2020). Temporal changes in the composition and biomass of beached pelagic. *Aquatic Botany*, 167, 103275.
- García-Rodríguez, D., Cela-Torrijos, R., Lorenzo-Ferreira, R. A., Carro-Díaz, A. M. (2012). Analysis of pesticide residues in seaweeds using matrix solid-phase dispersion and gas chromatography–mass spectrometry detection. *Food Chemistry*, 135(1), 259-267.
- Gupta, S., Abu-Ghannam, N. (2011). Recent developments in the application of seaweeds or seaweed extracts as a means for enhancing the safety and quality attributes of foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(4), 600-609.
- Hafting J.T., Cornish M.L., Deveau A., Critchley A.T. (2015) Marine Algae: Gathered Resource to Global Food Industry. En Sahoo D., Seckbach J. (Eds.), *The Algae World*. (Vol 26, pp. 403-427). Springer, Dordrecht.
- He, M. L., W. Hollwich, and W. A. Rambeck. (2002). Supplementation of algae to the diet of pigs: A new possibility to improve the iodine content in the meat. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 86 (3–4),97–104.
- Herath, K. H. I. N. M., Kim, H. J., Jang, J. H., Kim, H. S., Kim, H. J., Jeon, Y. J., Jee, Y. (2020). Mojabanchromanol isolated from *Sargassum horneri* attenuates particulate matter induced inflammatory responses via suppressing TLR2/4/7-MAPK signaling in MLE-12 Cells. *Marine Drugs*, 18(7), 355.

- Hifney, A., Fawzy, M., Abdel-Gawad, K., Gomaa, M. (2016). Industrial optimization of fucoidan extraction from *Sargassum* sp. and its potential antioxidant and emulsifying activities. *Food hydrocolloids*, 54, 77-88.
- Holdt, S.L., Kraan S. (2011). Bioactive compounds in seaweed; functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23, 543–597.
- Huang, C. Y., Wu, S. J., Yang, W. N., Kuan, A. W., Chen, C. Y. (2016). Antioxidant activities of crude extracts of fucoidan extracted from *Sargassum glaucescens* by a compressional-puffing-hydrothermal extraction process. *Food chemistry*, 197, 1121-1129.
- Huang, D., Ou, B., Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Hwa, J. K., Ho, L. B., Wook, C. B., Lee, H-S., Shin, J. (2005) Chromenes from the Brown Alga *Sargassum siliquastrum*. *Journal of natural products*, 68(5), 716-723.
- Ibáñez, E., Guerrero, M. (2017). *Las algas que comemos*. Los libros de la Catarata.
- Im, L. J., Seo, Y. (2011) Chromanols from *Sargassum siliquastrum* and their antioxidant activity in HT 1080 cells. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 59(6), 757-761.
- Jaspers, M., Folmer, F., (2013). *Sea Vegetables for Health*. Reporte para Food and Health Innovation Service. Departament of Chemistry, University of Aberdeen.
- Leal Bautista, R. M., Tapia Tussell, R., Alzate Gaviria, L. (2020). Usos potenciales del sargazo. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 71(4), 52–57.
- Li, Y., Fu, X., Duan, D., Liu, X., Xu, J., Gao, X. (2017) Extraction and identification of phlorotannins from the brown alga, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell. *Marine Drugs*, 15(2), 49.
- Lim, S., Choi, A. H., Kwon, M., Joung, E. J., Shin, T., Lee, S. G., Kim N. G., Kim, H. R. (2019). Evaluation of antioxidant activities of various solvent extract from *Sargassum serratifolium* and its major antioxidant components. *Food chemistry*, 278, 178-184.

- Liu, J., Wu, S. Y., Chen, L., Li, Q. J., Shen, Y. Z., Jin, L., Zhang, X., Chen, P. C., Wu, M. J., Choi, J. I., Tong, H. B. (2020). Different extraction methods bring about distinct physicochemical properties and antioxidant activities of *Sargassum fusiforme* fucoidans. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1385-1392.
- Lomartire, S., Marques, J. C., Gonçalves, A. M. (2021). An Overview to the Health Benefits of Seaweeds Consumption. *Marine Drugs*, 19(6), 341.
- López-López I., Bastida S., Ruiz-Capillas C., Bravo L., Larrea M. T., Sánchez-Muniz F., Cofrades S., Jiménez-Colmenero F. (2009). Composition and antioxidant capacity of low-salt meat emulsión model systems containing edible seaweeds. *Meat Science*, 83(3),492–8.
- Lytjou, A. E., Schoina, E., Liu, Y., Michalek, K., Stanley, M. S., Panagou, E. Z., Nychas, G. J. E. (2021). Quality and safety assessment of edible seaweeds *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* cultivated in Scotland. *Foods*, 10(9), 2210.
- MacArtain, P., Gill, C. I., Brooks, M., Campbell, R., Rowland, I. R. (2007). Nutritional value of edible seaweeds. *Nutrition reviews*, 65(12), 535-543.
- Melanson, J., MacKinnon, S. (2015). Characterization of phlorotannins from brown algae by LC-HRMS. En Stengel D., Connan S., *Natural products from marine algae. Methods in molecular biology* (Vol 1308, pp.254-256). New York, NY.: Humana Press.
- Metales tóxicos en alimentos. (2017). Revista del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Rangel”, 48, (1-2).
- Mikami K, Hosokawa M. (2013). Biosynthetic pathway and health benefits of fucoxanthin an algae-specific xanthophyll in brown seaweeds. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 13763-13781.
- Muñoz Bautista, A. N. (2013). *Composición taxonómica y abundancia de la macrofauna asociada a Sargassum (Phaeophyceae: fucales) flotante en el sistema arrecifal veracruzano, suroeste del Golfo de México*. (Tesis de maestría, Universidad Veracruzana). Repositorio Institucional - Universidad Veracruzana.
- Navarro, A. E., Hernandez-Vega, A., Masud, M. E., Roberson, L. M., Diaz-Vázquez, L. M. (2017). Bioremoval of phenol from aqueous solutions using native Caribbean seaweed. *Environments*, 4(1), 1.

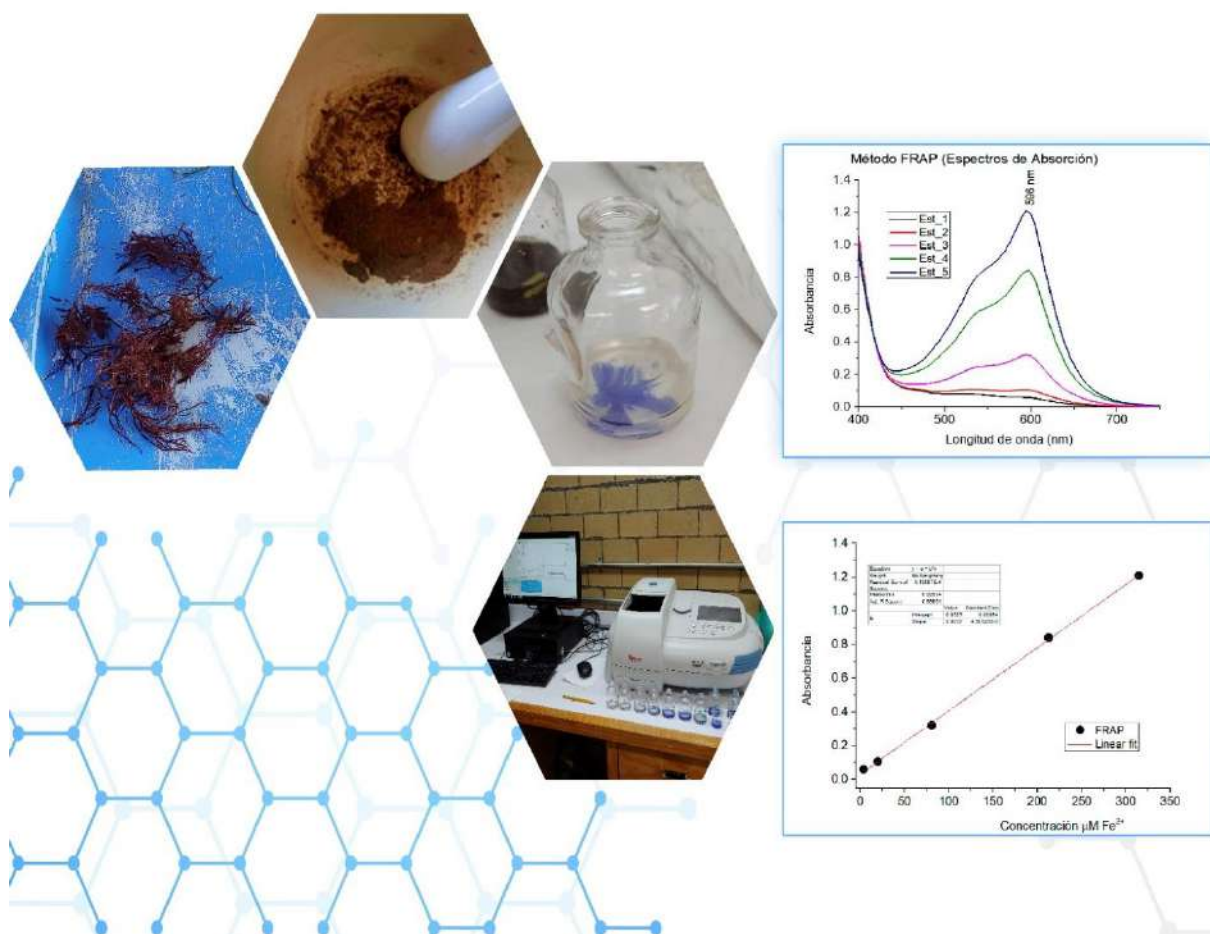
- Norra, I., Aminah, A., Suri, R. (2016). Effects of drying methods, solvent extraction and particle size of Malaysian brown seaweed, *Sargassum* sp. on the total phenolic and free radical scavenging activity. *International Food Research Journal*, 23(4), 1558-1563.
- Park, H. K., Kim, I. H., Kim, J., Nam, T. J. (2012). Induction of apoptosis by laminarin, regulating the insulin-like growth factor-IR signaling pathways in HT-29 human colon cells. *International journal of molecular medicine*, 30(4), 734-738.
- Park, H. K., Kim, I. H., Kim, J., & Nam, T. J. (2013). Induction of apoptosis and the regulation of ErbB signaling by laminarin in HT-29 human colon cancer cells. *International Journal of Molecular Medicine*, 32(2), 291-295.
- Patarra, R. F., Paiva, L., Neto, A. I., Lima, E., Baptista, J. (2011). Nutritional value of selected macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, 23(2), 205-208.
- Paz, S., Rubio, C., Frías, I., Gutiérrez, Á. J., González-Weller, D., Martín, V., Revert, C., Hardisson, A. (2019). Toxic metals (Al, Cd, Pb and Hg) in the most consumed edible seaweeds in Europe. *Chemosphere*, 218, 879-884.
- Pereira, L. (2011). A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds. En Pomin V. H (Ed.) *Seaweed: Ecology, Nutrient Composition and Medicinal Uses* (pp. 15– 47). Nova Science Publishers Inc.
- Pereira, L., Neto, J. (2014). *Marine Algae: Biodiversity, Taxonomy, Environmental Assessment, and Biotechnology*. Boca Raton: CRC Press.
- Pinto, D. C. (2020). Seaweeds Secondary Metabolites: Successes in and/or Probable Therapeutic Applications. *MDPI*.
- Prabhasankar, P., Ganesan, P., Bhaskar, N., Hirose, A., Stephen, N., Gowda, L. R., Hosokawa M., Miyashita, K. (2009). Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifida*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. *Food Chemistry*, 115(2), 501-508.
- Qin, Y. (2018). *Seaweed Bioresources. Bioactive seaweeds for food applications*. Academic Press.
- Queiroz, F. R., Avaca, J. A. (2008) Electrochemical Determination of the Antioxidant Capacity: The Ceric Reducing/Antioxidant Capacity (CRAC) Assay. *Electroanalysis* 20(12), 1323–1329.

- Restrepo Garzón, N. (2015). Extracción, purificación y análisis del contenido de Fucoxantina en Algas Pardas del Caribe colombiano. (Tesis de licenciatura, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano). Repositorio Institucional - Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Rodríguez, M. R., Medina, V. A., Blanchon, P., Monroy, V. L., Almazán, B. A., Delgado, P. B., Yeomans, V. L., Francisco, V., García, R. M. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 201-205.
- Rubio, C., González-Iglesias, T., Revert, C., Reguera, J. I., Gutiérrez, A. J., Hardisson, A. (2005). Lead dietary intake in a Spanish population (Canary Islands). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(16), 6543-6549.
- Sanjeewa, K. A., Lee, J. S., Kim, W. S., Jeon, Y. J. (2017). The potential of brown-algae polysaccharides for the development of anticancer agents: An update on anticancer effects reported for fucoidan and laminaran. *Carbohydrate polymers*, 177, 451-459.
- Ścieszka, S., Klewicka, E. (2019). Algae in food: A general review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(21), 3538-3547.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(2), 87–96.
- Stengel, D. B., Connan, S., Popper, Z. A. (2011). Algal chemodiversity and bioactivity: sources of natural variability and implications for commercial application. *Biotechnology advances*, 29(5), 483-501.
- Targett, N. M., Coen, L. D., Boettcher, A. A., Tanner, C. E. (1992). Biogeographic comparisons of marine algal polyphenolics: evidence against a latitudinal trend. *Oecologia*, 89(4), 464–470.
- Velasco-González, O., Echavarría-Almeida, S., Sifuentes-Díaz de León, A., Casas-Valdez, M. (2013). Uso del alga marina Sargassum spp. adicionada a la harina de trigo para preparar galletas alimenticias para consumo humano. *Bioagro*, 25(3), 189-194.

- Wijesekara, I., Pangestuti, R., Kim, S. K. (2011). Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides derived from marine algae. *Carbohydrate polymers*, 84(1), 14-21.
- Zhang, R., Zhang, X., Tang, Y., Mao, J. (2020). Composition, isolation, purification and biological activities of *Sargassum fusiforme* polysaccharides: A review. *Carbohydrate polymers*, 228, 115381.
- Zhong, Y., Shahidi, F. (2015). Methods for the assessment of antioxidant activity in foods. En Shahidi, F. (Ed.). *Handbook of antioxidants for food preservation* (pp. 287-333). Woodhead Publishing.

Sargazo, ensayo para medir su capacidad antioxidante y posibles compuestos presentes en el extracto

Sargassum, assay to measure its antioxidant capacity and possible compounds present in the extract



Arlett Gisela Gómez Carrasco, Stephany Ramírez Arenas, María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar, Minerva Monroy Barreto*

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Química Analítica, Circuito Exterior S/N, Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510 Ciudad de México, CDMX,

* Correspondencia para autor: Minerva Monroy Barreto
Universidad Nacional Autónoma de México
Correo electrónico: monroy17@unam.mx

Resumen

El sargazo es un género de macroalgas de la clase de algas pardas, algunas especies de estas macroalgas son consumidas como parte de la dieta debido a que son un reservorio de compuestos biológicamente activos; por ejemplo, ácidos grasos omega-6, antioxidantes, alginatos, carotenoides y compuestos fenólicos. Muchos de estos compuestos presentan propiedades antioxidantes las cuales juegan un importante papel en el tratamiento de algunas enfermedades (inflamación crónica, cáncer, desordenes cardiovasculares) en procesos de oxidación y envejecimiento.

Con el fin de evaluar la capacidad antioxidante se han desarrollado diferentes métodos; principalmente, los basados en una reacción de transferencia de electrón; y, los basados en una reacción de transferencia de átomo de hidrógeno entre el antioxidante y el radical libre. Por sus siglas en inglés, SET y HAT respectivamente.

En este trabajo se presenta la determinación preliminar de antioxidantes en una muestra de Sargazo que se recolectó de la zona costera de Campeche (Champotón) en diciembre de 2019, la muestra se lavó con agua potable y fue refrigerada. La revisión bibliográfica permitió establecer las condiciones experimentales de extracción y análisis. La muestra se secó a la sombra durante 72 horas y posteriormente en la estufa a 80 °C durante 16 h, se realizó la extracción con etanol a temperatura ambiente durante 24 h y la relación disolvente: muestra seca de sargazo fue 1:10. El extracto fue tratado según lo reportado por Benzie y Strain (1999). La capacidad antioxidante se evaluó empleando la capacidad reductora del Fe^{3+} (Método FRAP, por sus siglas en inglés). Se investigaron los posibles compuestos que pueden aportar al valor de la capacidad antioxidante.

Palabras Clave: sargazo, antioxidantes, FRAP, alga parda

Abstract

Sargassum is a genus of macroalgae in the class of brown seaweeds. Some species of these macroalgae are consumed by people, because they are a reservoir of biologically active compounds; for example, omega-6 fatty acids, antioxidants, alginates, carotenoids and phenolic compounds a lot of which offer potential medicinal uses against some diseases (chronic inflammation, cancer, cardiovascular disorders) in oxidation and aging processes.

In order to assess the antioxidant capacity two types of methods are generally used. One type is based on (a) a single electron transfer (SET) which depends on the potential of the antioxidant to reduce certain molecules and compounds by transferring an electron. (b) The other type is based on a hydrogen atom transfer (HAT) method which donates a hydrogenion from a stable molecule thus allowing the antioxidant to scavenge the reactive oxygen species.

This study provides evidence of antioxidant capacities of sargassum from a sample collected in December 2019 in the coastal area of Campeche (Champotón). The samples were washed thoroughly with fresh water and kept cool. A literature review allowed us to establish the experimental conditions (extraction and analysis). Sargassum was shade dried for 72 h and subsequently in the oven at 80 °C for 16 h. Extraction was carried out with ethanol at room temperature for 24 h and sargassum/solvent ratio was 10:1. The algal extract was carried out as described by Benzie & Strain (1999). The antioxidant capacity was evaluated using Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP). Possible compounds that can contribute to the value of antioxidant capacity were investigated

Key words: sargassum, antioxidant, FRAP, brown seaweed

Introducción

El sargazo es un género de macroalgas de la clase de algas pardas, algunas especies de estas macroalgas son consumidas como parte de la dieta debido a que son un reservorio de compuestos biológicamente activos; por ejemplo, ácidos grasos omega-6, polisacáridos sulfatados, antioxidantes, alginatos, carotenoides y compuestos fenólicos (Pinto, 2020). Muchos de estos compuestos presentan propiedades antioxidantes, es decir, las moléculas son capaces de atrapar el electrón desapareado del radical libre e inactivarlo. Esto evita reacciones de oxidación que juegan un importante papel en los procesos de envejecimiento y en el tratamiento de algunas enfermedades (inflamación crónica, cáncer, desordenes cardiovasculares).



Figura 1. Sargazo en la playa del sitio de colecta.

Con el fin de evaluar la capacidad antioxidante se han desarrollado diferentes métodos; entre los que se encuentran los basados en una reacción de transferencia de un electrón y los basados en una reacción de transferencia de un átomo de hidrógeno entre el antioxidante y el radical libre (Queiroz, 2008). Por sus siglas en inglés, SET y HAT respectivamente. Los métodos que se basan en el mecanismo SET involucran una reacción redox (**Ecuación 1**) son muy empleados para determinar la capacidad antioxidante de extractos naturales, debido a que requieren de disoluciones que son sencillas de preparar, las mezclas de reacción son estables y las determinaciones en general emplean un cromóforo (oxidante) que se detecta espectrofotométricamente en el intervalo de luz visible, los métodos más sobresalientes son el ABTS, DPPH y FRAP (**Figura 2**).



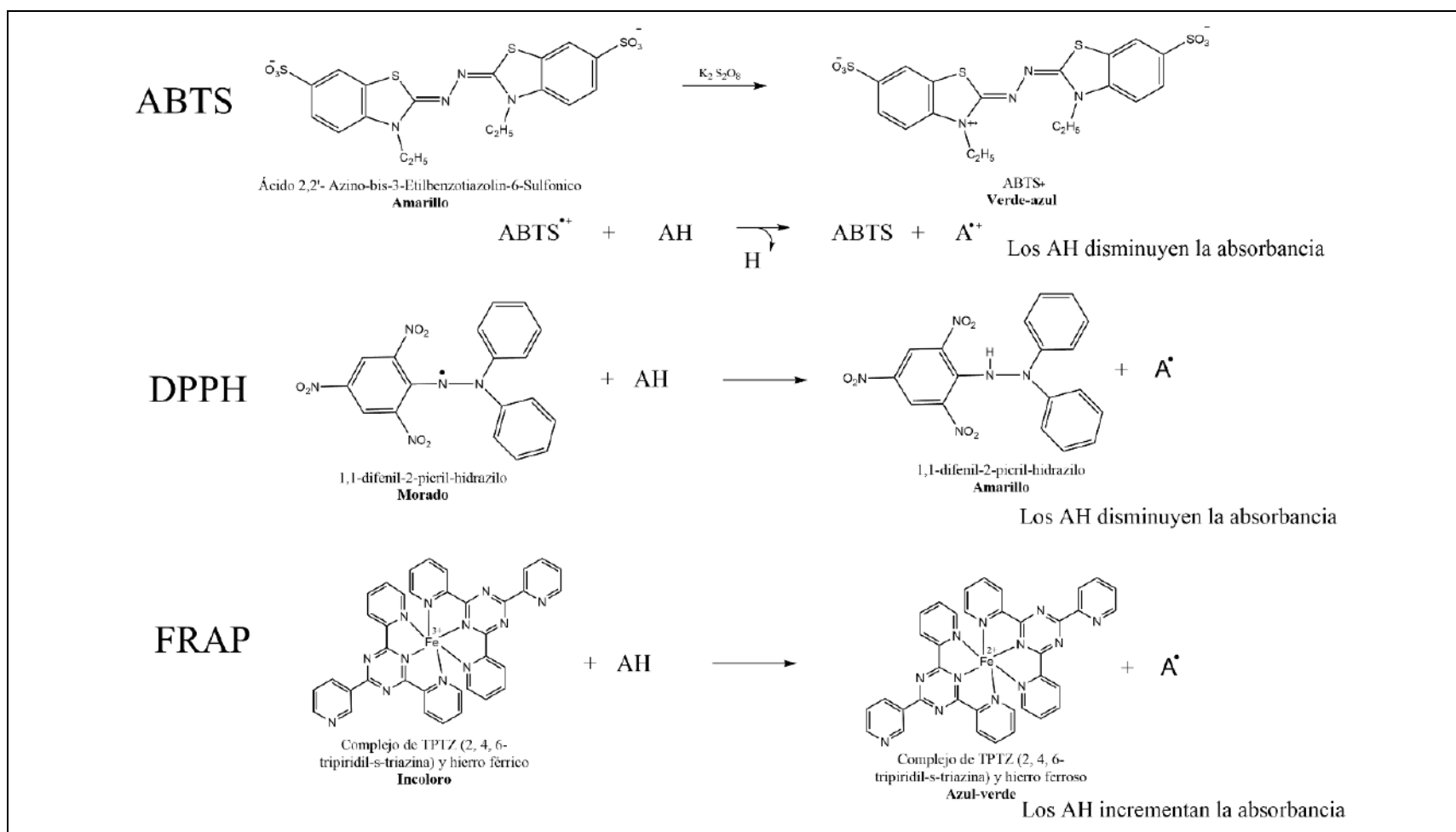


Figura 2. Ensayos para determinar actividad antioxidante basados en transferencia de un electrón.

El Ensayo de decoloración con el radical catiónico Acido 2,2'- Azino-bis-3-Etilbenzotiazolin-6-Sulfónico (ABTS) permite la determinación de antioxidantes hidrofílicos e hidrofóbicos, para ello se genera el radical $ABTS^{+\bullet}$ por medio químico o enzimático, el cual es de color verde-azul y es soluble en agua. La adición del antioxidante al catión radical disminuye el color y se relaciona con la inhibición del radical.

Ensayo de decoloración del radical 1-1-difenil-2- picrilhidrazilo (DPPH). Este ensayo solo permite la determinación de antioxidantes hidrofóbicos. La molécula 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) es conocida como un radical libre estable ($DPPH^{\bullet}$), este radical es soluble en metanol y presenta un color violeta intenso. Este color se atenúa si el $DPPH^{\bullet}$ reacciona con un compuesto antioxidante (AH) este cambio se emplea para la determinación de la capacidad antioxidante (Brand-Williams y col., 1995).

FRAP ((Ferric ion Reducing Antioxidant Power o Capacidad antioxidante para Reducir el ion Férrico del plasma) (Ensayo FRAP). El ensayo FRAP mide en presencia de un antioxidante la reducción del complejo de hierro férrico y una triazina Fe^{3+} -TPTZ a su forma ferrosa Fe^{2+} -TPTZ que es de un color azul intenso. La reacción no es específica ya que cualquier semireacción que tenga un potencial redox menor que la semireacción ($Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$) conducirá a la formación de Fe^{2+} . El incremento de color (absorbancia) está relacionado con el poder reductor de los antioxidantes donantes de electrones presentes en el medio de reacción (Benzie y Strain, 1996). En la literatura existen reportes sobre la capacidad antioxidante del sargazo, el cual depende del lugar y de la estación en que se colectó (Zubia y col., 2008). El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad antioxidante de una muestra de sargazo colectada en la zona costera de Campeche en diciembre de 2019 y determinar los posibles compuestos antioxidantes presentes en el extracto obtenido. La revisión bibliográfica permitió establecer las mejores condiciones experimentales de extracción y análisis. La capacidad antioxidante se evaluó empleando el ensayo de la capacidad de reducción férrica del plasma (FRAP por sus siglas en inglés) de Benzi y Strain (1996).

Materiales y Métodos

Colección de muestra

La muestra de Sargazo se recolectó de la zona costera de Campeche (Champton) en diciembre de 2019, esta se lavó con agua potable en el sitio de muestreo y se transportó al laboratorio en bolsas de polietileno estériles.

Preparación de la muestra

Después de una extensa revisión bibliográfica, se diseñó y realizó el tratamiento de muestra, el cual consistió en secar el sargazo a la sombra durante 72 horas, después en estufa a 80 °C durante 16 horas, pulverizar y almacenar en refrigeración hasta su análisis. El extracto de sargazo se obtiene al usar etanol a temperatura ambiente durante 24 horas utilizando una relación disolvente:muestra

seca 1:10 (Dang y col., 2018; Cho y col., 2007). Después de este tiempo, la muestra se filtra y se toman alícuotas para su análisis.

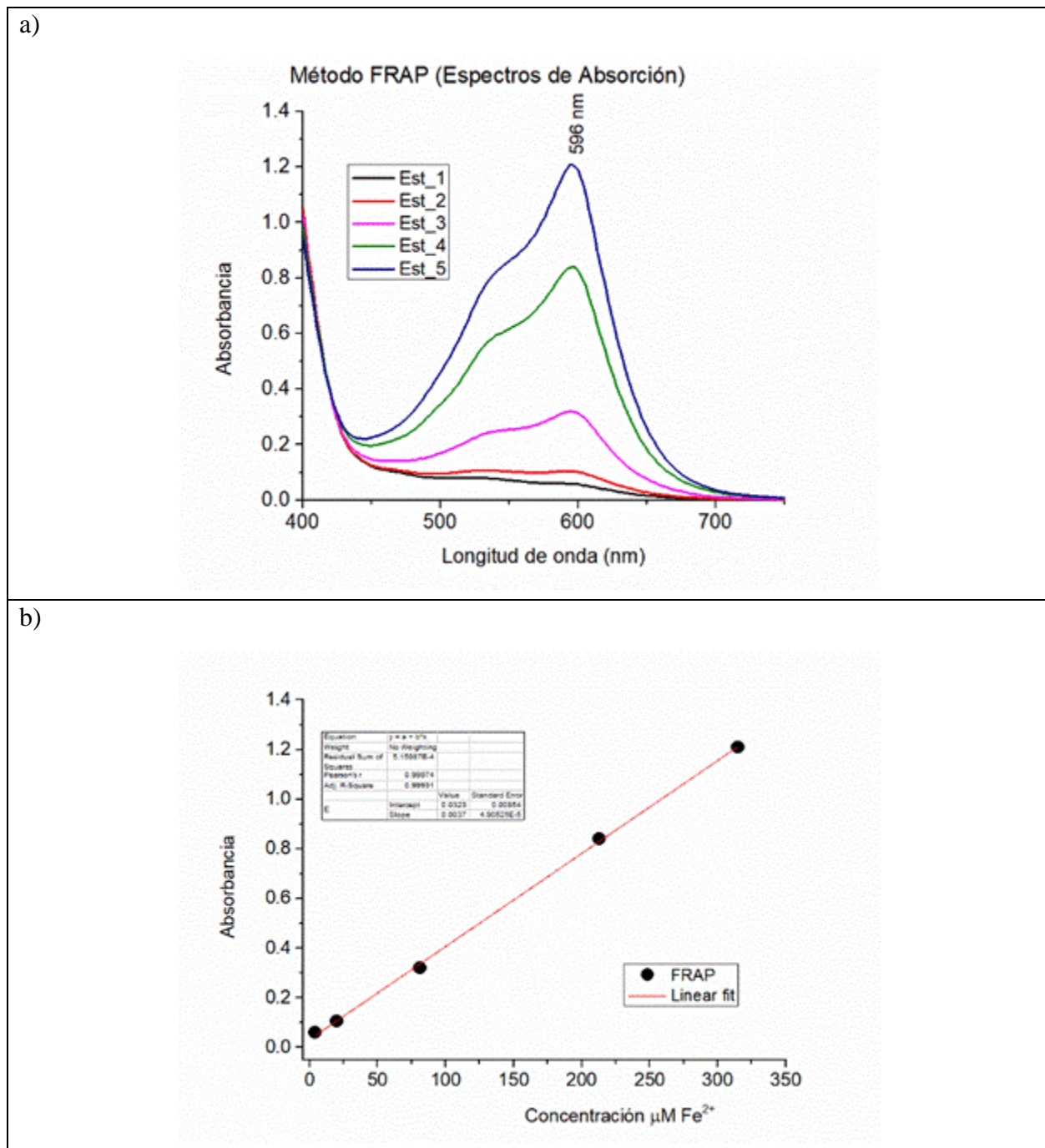


Figura 3. a) Espectros obtenidos para los estándares de calibración (4 a 314 μM de Fe^{2+}).
 b) Curva de calibración.

Método FRAP

Se realiza el procedimiento de acuerdo con el método de Benzie & Strain (1996) con algunas modificaciones, el reactivo del método FRAP se prepara el día de trabajo y para ello se elaboran 3 disoluciones a) TPTZ (2, 4, 6- tripiridil-s-triazina) 10 mM en ácido clorhídrico; b) 40 mM, cloruro férrico (20 mM) y c) buffer de acetatos 300 mM (pH=3.6) las cuales se mezclan en una relación de 1:1:10, respectivamente. Se miden 3.9 mL del reactivo FRAP y se colocan en un recipiente donde se mezclan con 500 μ L del extracto etanólico. La absorbancia se mide a $\lambda=596$ nm con un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometer). El ácido gálico se usó como control positivo. Se prepararon estándares de 4 a 314 μ M Fe^{2+} y los resultados se expresan en μ M Fe^{2+} /g muestra seca.

Resultados y Discusión

El objetivo del trabajo fue determinar el contenido de antioxidantes en la muestra de sargazo, empleando el método FRAP, bajo las condiciones experimentales descritas. Los espectros de absorción obtenidos para los estándares de calibración preparados (4 a 314 μ M de Fe^{2+}) se muestran en la **Figura 3a**. El barrido espectral permitió definir la longitud de onda de máxima absorbancia ($\lambda = 596$ nm) para construir la curva de calibración. En la **Figura 3b** se presenta la curva de calibración obtenida, en que se observa una relación lineal entre la absorbancia y la concentración del complejo de Fe^{2+} formado Fe^{2+} -TPTZ. El coeficiente de correlación lineal obtenido es de 0.999.

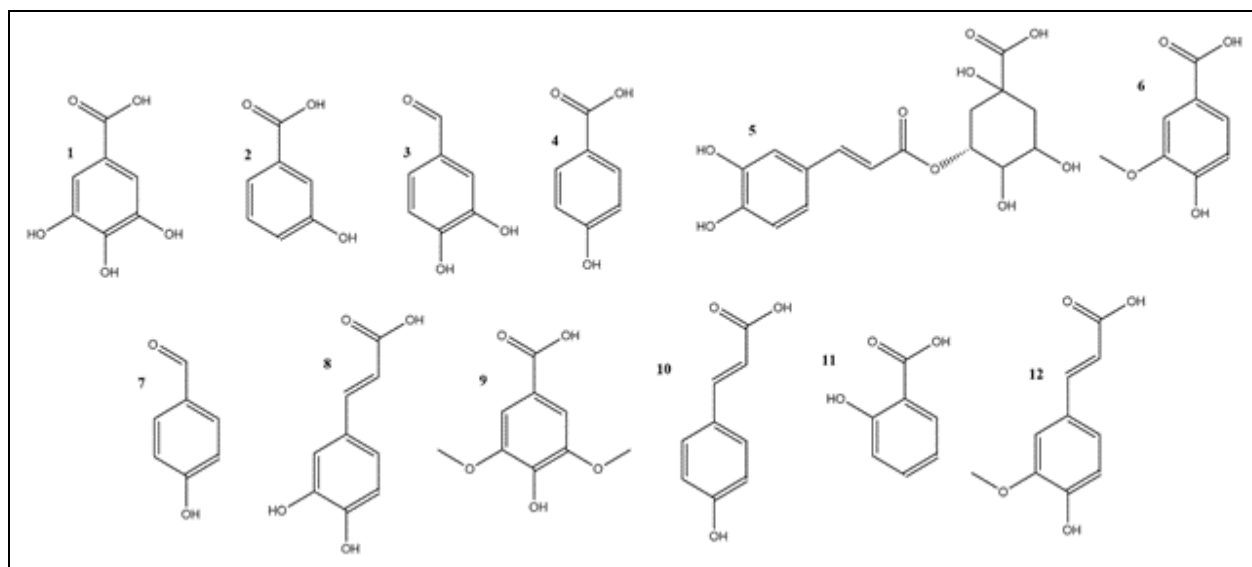


Figura 4. Compuestos fenólicos solubles en etanol encontrados en *Sargassum muticum*. (1) ácido gálico, (2) ácido protocatéuico, (3) 3,4-dihidroxibenzaldehído, (4) ácido p-hidroxibenzoico, (5) ácido clorogénico, (6) ácido vainillico, (7) p-hidroxibenzoico, (8) ácido cafeico, (9) ácido siríngeo, (10) ácido p-cumárico, (11) ácido salicílico y (12) ácido ferúlico.

El ensayo FRAP permitió obtener el valor de capacidad antioxidante de $0.29 \mu\text{M}$ de Fe^{2+}/g de muestra seca en la muestra de sargazo colectada en Champotón Campeche en invierno. Este valor de la capacidad antioxidante no es un valor esperado, sin embargo, se sabe que está sujeto a una gran variabilidad, depende del lugar de colecta, temperatura, cantidad de radiación UV que incide sobre la muestra. En cierta forma una alta exposición al sol es responsable de inducir la producción de antioxidantes como defensa (Budhiyanti y col., 2012).

Para concluir el trabajo se realizó una revisión sobre los antioxidantes que se han reportado presentes en el sargazo y de acuerdo con su estructura y propiedades evaluar cuales se podrían encontrar en los extractos etanólicos.

Se ha reportado la presencia de compuestos fenólicos en extractos etanólicos de sargazo (Anaelle y col., 2013). Klejdus y col., (2017) informan la identificación de varios compuestos fenólicos en *Sargassum muticum* en extractos obtenidos después de llevar a cabo una hidrólisis **Figura 4**.

Los bromofenoles son compuestos que proporcionan el sabor característico a los organismos marinos, se cree que su presencia en estos deriva de la ingesta de algas marinas, ya que son las algas las que pueden sintetizarlos. La presencia de bromofenoles (2-Bromofenol, 4-bromofenol, 2,4-Dibromofenol, 2,6-Dibromofenol, y 2,4,6-tribromofenol) con actividad antioxidante se ha estudiado en *Sargassum siliquastrum* (Yin y col., 2003). Los bromofenoles se encuentran en extractos etéreos y de diclorometano, no así en extractos etanólicos (González y col., 2017). Es poco probable encontrar bromofenoles en nuestros extractos.

También dentro de los compuestos fenólicos que se han reportado presentes en cantidades importantes en sargazo es el floroglucinol (1,3,5-trihidroxibenceno) el cual es la unidad estructural de los florotaninos, los cuales se consideran los principales compuestos fenólicos en sargazo, los florotaninos pueden encontrarse libres o formando complejos con diferentes componentes de las paredes celulares de las algas (Li y col., 2017), lo que ha permitido encontrarlos en los extractos de etanol, estos compuestos fenólicos son esenciales para las algas pardas porque se producen como metabolitos secundarios que participan como defensa química, protección contra la radiación UV, interacciones con otros organismos. Los florotaninos encontrados en algas pardas han sido estudiados por diferentes grupos de trabajo (Gheda y col., 2021; Li y col., 2017; Nakai y col., 2006) por sus beneficios y potencial uso en terapias de diversas enfermedades. En sargazo se han encontrado florotaninos que se clasifican de acuerdo con el enlace entre las unidades de floroglucinol como son los fuhaholes/floroetoles (enlace éter), fucoles (enlace fenil), fucofloroetoles (enlace éter y fenilo) y eckoles (enlace dibenzodioxina) (**Figura 5**).

Los carotenoides son moléculas lipofílicas y toman un papel importante en la protección contra procesos foto-oxidativos en las algas pardas (Hermund, 2018). El carotenoide más abundante en el sargazo es la fucoxantina (**Figura 6**) la cual presenta un color café intenso. Es efectiva para absorber la luz, por lo que participa en la fotosíntesis como un pigmento fotosintético, su estructura es la responsable de su importante actividad antioxidante. La fucoxantina es más inestable que

otros carotenoides y se degrada fácilmente bajo la influencia de la temperatura, luz y pH, es posible encontrarla en los extractos de etanol (Nie y col., 2021).

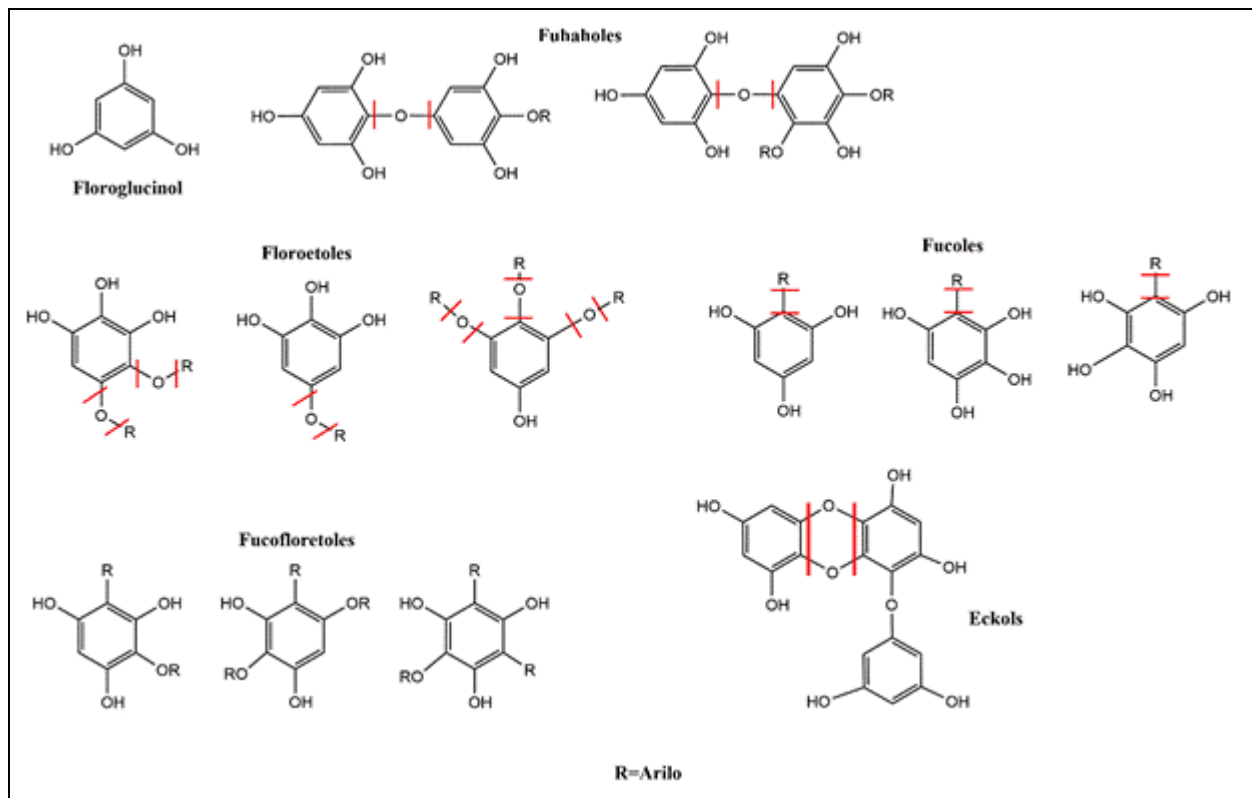


Figura 5. Estructuras de florotánicos.

Los terpenoides o isoprenoides como el loliólido (Giriwono y col., 2019) y el turberatolido B, así como las llamadas quinonas isoprenoides como el ácido sargaquinoico y sargahidroquinoico; presentan alta actividad antioxidante (**Figura 7**). Kim y col., (2020) realizaron la extracción de loliolido con metanol y confirmaron el potencial antioxidante de este monoterpeneoide. Lim y col., (2019) encontraron en los extractos etanólicos de *Sargassum serratifolium* altos niveles de los ácidos sargaquinoico y sargahidroquinoico.

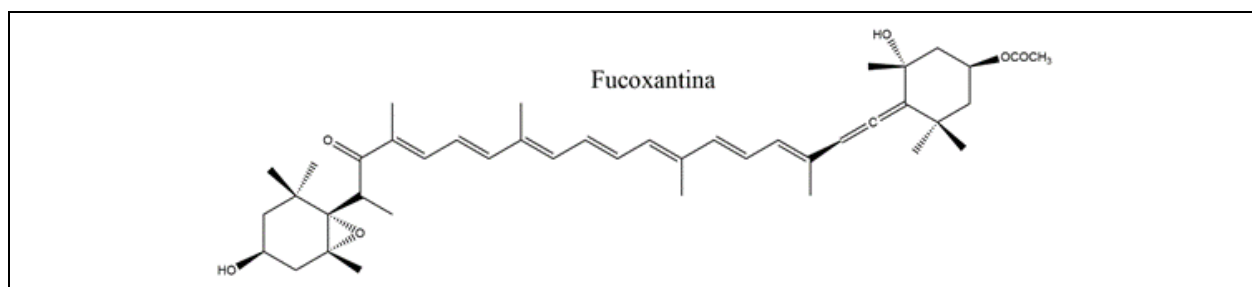


Figura 6. Estructura de la fucoxantina.

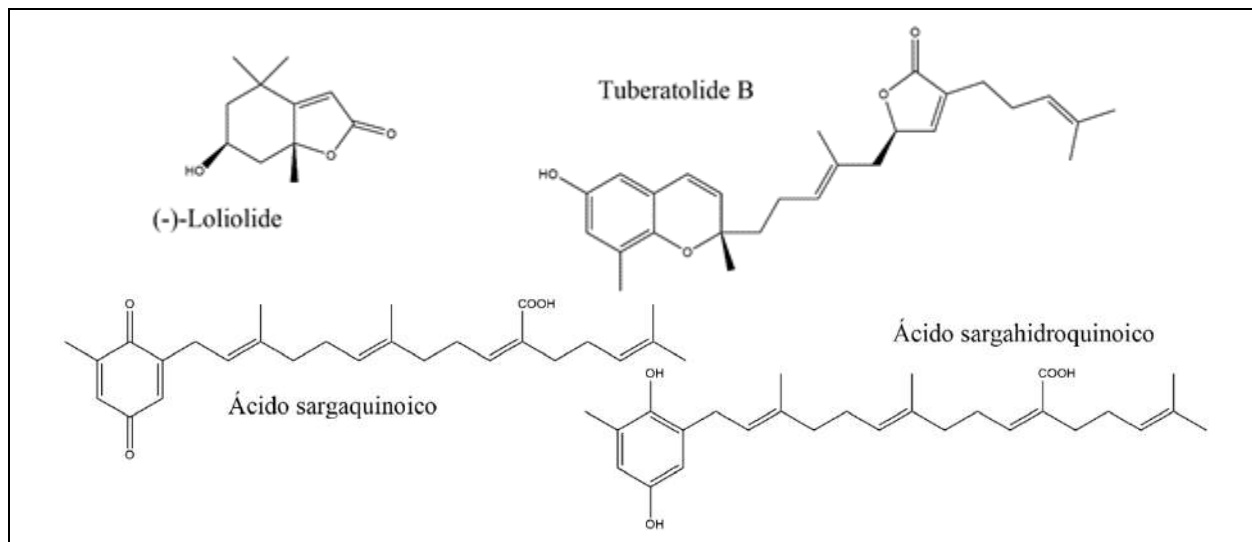


Figura 7. Estructura de terpenoides y quinonas isoprenoides.

El fucosterol (**Figura 8**) es un esteroles de las algas pardas, se ha reportado su extracción con etanol en reflujo (Zhen y col., 2015). Las investigaciones realizadas sobre este compuesto indican actividad positiva sobre la reducción de los niveles de colesterol y efecto como agente antidiabético, antioxidante y anticancerígeno (Min y col., 2020).

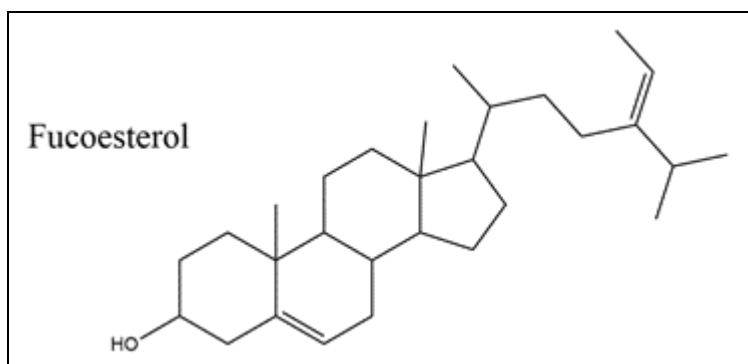


Figura 8. Estructura química del fucoesterol.

Los flavonoides (**Figura 9**) son compuestos bioactivos encontrados en sargazo, los cuales funcionan como antioxidantes, entre ellos se ha encontrado el kaempferol en extractos metanólicos de *Sargassum aspirofolium*, *latifolium* y *muticum*. El kaempferol es un flavonol, altamente soluble en agua y etanol caliente (Fouda y col., 2019). Ruslin y col., (2018) usan etanol al 70 % para la extracción de flavonoides porque este disolvente tiene la capacidad de extraer compuestos en una amplia variedad de polaridades y no es tóxico; además, señalan que el método de extracción y el tipo de disolvente empleado no afecta el contenido de flavonoides en el extracto debido a que los flavonoides tiene la misma cantidad de partes polares y no polares.

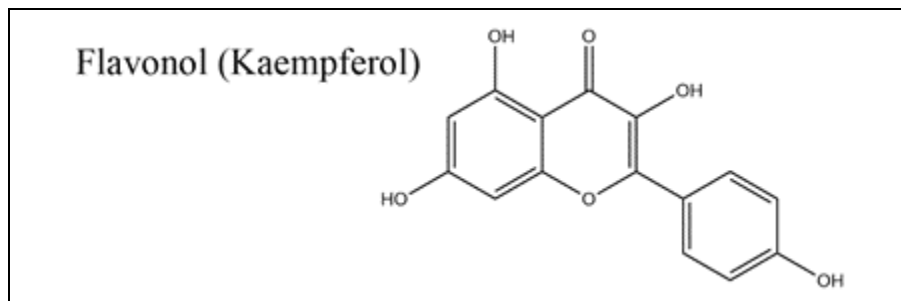


Figura 9. Estructura del kaempferol.

También está reportado que las algas pardas del género *Sargassum* contienen metabolitos secundarios estructuralmente únicos como el sargasumol, plastoquinonas, cromanoles, ciclopentenona (Iwashima y col., 2005).

El sargasumol (**Figura 10**) fue aislado de extractos de metanol del *S. micracanthum* a temperatura ambiente, fue nombrado así por el grupo de B-S. Yun, (Kim y col., 2011) y presenta actividad antioxidante.

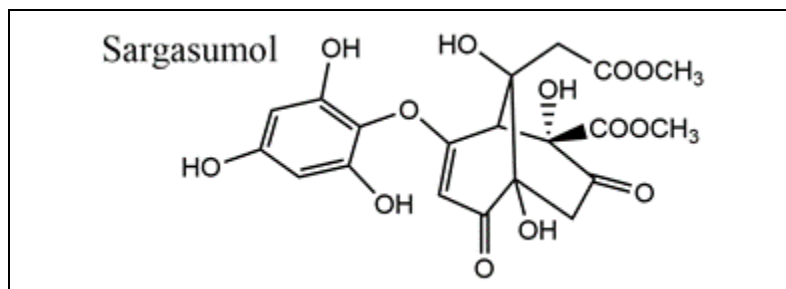


Figura 10. Estructura química del sargasumol.

La plastoquinona se biosintetiza en plantas superiores y algas; participa en el transporte de electrones involucrados en la fotosíntesis, se clasifica como una benzoquinona isoprenoide (Eyong y col., 2013), es un lípido soluble en disolventes orgánicos, por este motivo es difícil encontrarlo en el extracto etanólico, **Figura 11**.

Varios metabolitos encontrados en las algas pardas son derivados del cromeno (benzopirano), los cuales poseen propiedades fotoquímicas, exhiben citotoxicidad y actividad antioxidante (Hwa y col., 2005). También se ha reportado que la sustitución en el núcleo de cromeno con diferentes grupos aumenta la capacidad de la molécula para prevenir enfermedades, en sargazo se han encontrado cromanoles como los sargacromanoles (Li y col., 2017; Im y Seo, 2011). cromenos como mojabancromanol (Hewage y col., 2020) entre otros en extractos etanólicos.

Los resultados de diferentes investigaciones han demostrado que polisacáridos como el ácido alginico (Sarithakumari y col., 2013) y fucoïdan (polisacárido sulfatado) presentes en sargazo

tienen una capacidad antioxidante importante, son potentes eliminadores de radicales libres y agentes anticancerosos (Jesumani y col., 2020). Sin embargo, su extracción es más complicada que la obtención del extracto etanólico, debido a que forman las paredes celulares de las algas y para su extracción se requieren técnicas asistidas con diferentes dispositivos como la extracción por microondas, ultrasonido, por enzimas, la extracción con agua caliente presurizada y la extracción de fluidos supercríticos (Devi y col., 2019).

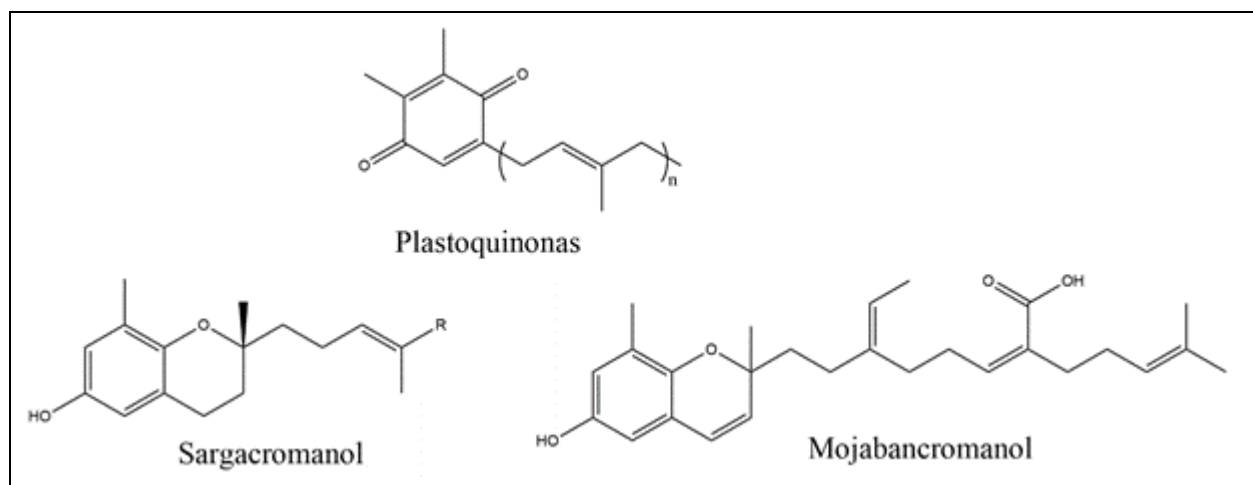


Figura 11. Estructura de plastoquinona y derivados del cromoeno.

Por todo lo anterior expuesto, es probable que en extracto etanólico obtenido de acuerdo con la forma en que lo tratamos encontremos las especies como compuestos fenólicos, florotaninos, terpenoides, quinonas isoprenoides como el ácido sargaquinoico y sargahidroquinoico, flavonoides, sargasumol y cromenos. La fucoxantina es muy inestable y se degrada fácilmente bajo la influencia de la temperatura, luz y pH probablemente no la encontremos en nuestro extracto.

Conclusiones

El ensayo FRAP permitió la determinación de la capacidad antioxidante de la muestra de sargazo colectada en Campeche.

La capacidad antioxidante en sargazo está sujeta a una gran variabilidad, depende de manera importante de la cantidad de radiación UV que incide sobre el mismo.

La bibliografía indica que son variados los compuestos antioxidantes encontrados en sargazo que pueden extraerse en etanol como los compuestos fenólicos, florotaninos, terpenoides, quinonas isoprenoides como el ácido sargaquinoico y sargahidroquinoico, flavonoides, sargasumol y cromenos.

Agradecimientos

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME 210820. Se agradece a J. C. Aguilar Cordero, J. J. Recillas Mota, O. Zamora Martínez, F. E. Mercader Trejo, R. Herrera Basurto, I. Zaldivar Coria colaboradores del proyecto y a la Dra. Araceli Peña Álvarez. También se da un agradecimiento a la Ing. Judit Pérez Zaragoza por sus diseños.

Referencias

- Anaëlle, T., Serrano, L. E., Laurent, V., Elena, I., Mendiola, J. A., Stéphane, C., Nelly, K., Stéphane, L. B., Luc, M., Valérie, S-P. (2013) Green improved processes to extract bioactive phenolic compounds from brown macroalgae using *Sargassum muticum* as model. *Talanta* 104: 44–52. DOI: 10.1016/j.talanta.2012.10.088
- Benzie, I. F. F., Strain, J. J (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochem.* 239: 70–76. DOI: 10.1006/abio.1996.0292
- Boi, V. N., Cuong, D. X., & Vinh, P. T. K. (2017). Effects of extraction conditions over the phlorotannin content and antioxidant activity of extract from brown algae *Sargassum serratum* (Nguyen Huu Dai 2004). *Free Radicals and Antioxidants*, 7(1): 115-122. DOI: 10.5530/fra.2017.1.17
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995) Use of a free Radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology.*, 28(1): 25-30. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Budhiyanti, S. A., Raharjo, S., Marseno, D. W., Lelana, I. Y. B. (2012) Antioxidant Activity of Brown Algae *Sargassum* species Extract from the Coastline of Java Island. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 7 (3): 337-346.
- Casas, M. P., Conde, E., Domínguez, H., & Moure, A. (2019). Ecofriendly extraction of bioactive fractions from *Sargassum muticum*. *Process biochemistry*, 79: 166-173. DOI: 10.1016/j.procbio.2018.12.021
- Cho, S. H., Cho, J. Y., Kang, S. E., Hong, Y. K., & Ahn, D. H. (2008). Antioxidant activity of mojabanchromanol, a novel chromene, isolated from brown alga *Sargassum siliquastrum*. *J. Environ. Biol.* 29: 479-484.
- Cho, S., Kang, S., Cho, J., Kim, A., Park, S., Hong, Y., A. D. (2007) The antioxidant properties of brown seaweed (*Sargassum siliquastrum*) extracts. *Journal Medicinal Food* 10 (3):479-485. DOI: 10.1089/jmf.2006.099.

Dang, T.T., Bowyer, M.C., Van Altena, I. A., Scarlett, C.J. (2018) Optimum conditions of microwave-assisted extraction for phenolic compounds and antioxidant capacity of the brown alga *Sargassum vestitum*. *Separation Science and Technology*, 53(11): 1711–1723. DOI: 10.1080/01496395.2017.1414845.

Devi, H. M., Kumar, A., Tejpal, C. S., Krishnamoorthy, E., Kishore, P., Kumar, K. A. (2019) Isolation of crude fucoidan from *Sargassum wightii* using conventional and ultra-sonication extraction methods. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 20, 100200. DOI: 10.1016/j.bcdf.2019.100200.

Eyong, K. O., Kuete, V., Efferth, T. (2013) Quinones and Benzophenones from the Medicinal Plants of Africa. In *Medicinal Plant Research in Africa*. (pp. 351-391). Elsevier Inc. DOI: 10.1016/B978-0-12-405927-6.00010-2

Fouda, W. A., Ibrahim, W., Ellamie, A. M., Ramadan, G. (2019) Biochemical and mineral compositions of six brown seaweeds collected from Red Sea at Hurghada Coast. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 48 (04), 484-491.

García, J. R., De La Rosa, L. A., González Barrios, A. G., Herrera Duenez, B., López Díaz, J. A., González-Aguilar, G. A., Ruiz Cruz S., Álvarez Parrilla, E. (2011). Cuantificación de polifenoles y capacidad antioxidante en duraznos comercializados en Ciudad Juárez, México. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(2), 67-75. Disponible en: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/696>. Fecha de consulta: 12 de enero de 2021.

Gheda, S., Abdel, N. M., Mohamed, T., Pereira, L., Khamis, A. (2021) Antidiabetic and antioxidant activity of phlorotannins extracted from the brown seaweed *Cystoseira compressa* in streptozotocin-induced diabetic rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16. 28:22886–22901. DOI: 10.1007/s11356-021-12347-5.

Giriwono, P. E., Iskandriati, D., Ping, T. C., Andarwulan, N. (2019) *Sargassum* Seaweed as a Source of Anti-Inflammatory Substances and the Potential Insight of the Tropical Species: A Review. *Marine Drugs*, 17(10), 590. DOI:10.3390/md17100590.

González, B., Fuertes, C., Yauri, C., Vega, K. (2017) Compuestos bromofenólicos y actividad antioxidante de extractos del alga roja *Polysiphonia paniculata* montagne. *Ciencia e Investigación* 20(1): 9-14. DOI: 10.15381/ci.v20i1.14315.

Herath, K. H. I. N. M., Kim, H. J., Mihindukulasooriya, S. P., Kim, A., Kim, H. J., Jeon, Y. J., Jee, Y. (2020) *Sargassum horneri* extract containing mojabanchromanol attenuates the particulate matter exacerbated allergic asthma through reduction of Th2 and Th17 response in mice. *Environmental Pollution* 265, 1140942. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114094.

Hermund, D. B. (2018) Antioxidant Properties of Seaweed-Derived Substances. In *Bioactive Seaweeds for Food Applications* (pp. 201-221) Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-813312-5.00010-8.

Huet Breña, C. (2017). Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en muestras biológicas. Universidad Complutense, Facultad de Farmacia. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/54713/1/CRISTINA%20HUET%20BRE%C3%91A.pdf>. Fecha de consulta: 19 de mayo de 2021.

Hwa, J. K., Ho, L. B., Wook, C. B., Lee, H-S., Shin, J. (2005) Chromenes from the Brown Alga *Sargassum siliquastrum*. *Journal of natural products*, 68(5): 716-723. DOI: 10.1021/np058003i
Im, L. J., Seo, Y. (2011) Chromanols from *Sargassum siliquastrum* and Their Antioxidant Activity in HT 1080 cells. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 59(6): 757—761. DOI: 10.1248/cpb.59.757

Iwashima, M., Mori, J., Ting, X., Matsunaga, T., Hayashi, K., Shinoda, D., Saito, H., Sankawa, U., Hayashi, T. (2005) Antioxidant and Antiviral Activities of Plastoquinones from the Brown Alga *Sargassum micracanthum*, and a New Chromene Derivative Converted from the Plastoquinones, *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 28(2): 374—377. DOI: 10.1248/bpb.28.374

Jesumani V., Du, H., Pei, P., Aslam, M., Huang, N. (2020) Comparative study on skin protection activity of polyphenol-rich extract and polysaccharide-rich extract from *Sargassum vachellianum*. *PLoS ONE* 15(1): e0227308. DOI: 10.1371/journal.pone.0227308

Kim, C., Lee, I-K., Youn, C. G., Oh, K-H., Lim, Y. W., Yun, B-S. (2012) *Sargassumol*, a novel antioxidant from the brown alga *Sargassum micracanthum*. *The Journal of Antibiotics* 65:87–89

Kim, H-S., Wang, L., Priyan, S. I., Je, J-G., Ko, A-C., Cheol, K. M., Min, L. J., Yim, M-J., Jeon, Y-J., Lee, D-S. (2020) Antioxidant efficacy of (–)-loliolide isolated from *Sargassum horneri* against AAPH-induced oxidative damage in Vero cells and zebrafish models in vivo. *Journal of Applied Phycology* 32(5) :3341–3348. DOI: 10.1007/s10811-020-02154-9.

Klejdus, B., Plaza, M., Snóblova, M., Lojková, L. (2017) Development of new efficient method for isolation of phenolics from sea algae prior to their rapid resolution liquid chromatographic–tandem mass spectrometric determination. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 135: 87–96. DOI: 10.1016/j.jpba.2016.12.015.

Lee, J. M., Jeon, J. H., Yim, M-J., Choi, G., Seok, L. M., Gyeong, P. Y., Lee, D-S. (2020) Comparison of fucosterol content in algae using high-performance liquid chromatography. *Fisheries and Aquatic Sciences* 23:9, 1-6. DOI: 10.1186/s41240-020-00153-y

Li, Y., Fu, X., Duan, D., Liu, X., Xu, J., Gao, X. (2017) Extraction and identification of phlorotannins from the brown alga, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell. *Marine Drugs* 15(2): 49. DOI: 10.3390/md15020049.

Lim, S., Choi, A. H., Kwon, M., Joung, E. J., Shin, T., Lee, S. G., Kim N. G., Kim, H. R. (2019). Evaluation of antioxidant activities of various solvent extract from *Sargassum serratifolium* and its major antioxidant components. *Food chemistry*, 278: 178-184. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.058

Liu, J., Wu, S. Y., Chen, L., Li, Q. J., Shen, Y. Z., Jin, L., Zhang, X., Chen P. C., Wu, M. J., Choi, J. I., Tong, H. B. (2020). Different extraction methods bring about distinct physicochemical properties and antioxidant activities of *Sargassum fusiforme* fucoindans. *International journal of biological macromolecules*, 155, 1385-1392. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.113

Nakai, M., Kageyama, N, Nakahara, K., Miki, W. (2006) Phlorotannins as Radical Scavengers from the Extract of *Sargassum ringgoldianum*. *Marine Biotechnology* 8(4), 409-414. DOI: 10.1007/s10126-005-6168-9

Nie, J., Chen, D., Lu, Y., Dai, Z (2021) Effects of various blanching methods on fucoxanthin degradation kinetics, antioxidant activity, pigment composition, and sensory quality of *Sargassum fusiforme*. *LWT - Food Science and Technology* 143, 111179. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111179

Norra, I., Aminah, A., & Suri, R. (2016). Effects of drying methods, solvent extraction and particle size of Malaysian brown seaweed, *Sargassum* sp. on the total phenolic and free radical scavenging activity. *International Food Research Journal*, 23(4), 1558-1563.

Pinto, D. C. (Ed.). (2020). Seaweeds Secondary Metabolites: Successes in and/or Probable Therapeutic Applications. MDPI. DOI: 10.3390/books978-3-03928-301-9

Ragubeer, N., Limson, J. L., & Beukes, D. R. (2012). Electrochemistry-guided isolation of antioxidant metabolites from *Sargassum elegans*. *Food chemistry*, 131(1): 286-290. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.08.037

Ruslin, M., Akbar, F.H., Hajrah, Y. A., Subehan, S. (2018) Analysis of total flavonoid levels in brown algae (*Sargassum* sp. and *Padina* sp.) as analgesic drug therapy. *Asian Journal of pharmaceutical and clinic research*. 11(7) 81-83. DOI: 10.22159/ajpcr.2018.v11i7.25657

Sarithakumari, C. H., Renju, G. L., Muraleedhara, K. G. (2013) Anti-inflammatory and antioxidant potential of alginic acid isolated from the marine algae, *Sargassum wightii* on adjuvant-induced arthritic rats. *Inflammopharmacol* 21(13) :261–268. DOI: 10.1007/s10787-012-0159-z

Tomasina, F., Carabio, C., Celano, L., Thomson, L. (2012). Analysis of two methods to evaluate antioxidants. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 40(4), 266-270. DOI: 10.1002/bmb.20617

Xiaojun, Y., Xiancui, L., Chengxu, Z., & Xiao, F. (1996). Prevention of fish oil rancidity by phlorotannins from *Sargassum kjellmanianum*. *Journal of Applied Phycology*. 8(3), 201-203. DOI: 10.1007/BF02184972

Yan, X. J.; Chuda, Y.; Suzuki, M.; Nagata, T. Fucoxanthin as the major antioxidant in *Hijikia fusiformis*, a common edible seaweed. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 63(3), 605-607. DOI: 10.1271/bbb.63.605

Yin, C. H., Chi, J. M. W., Ang, P O., Kim, J-S., Chen, F. (2003) Seasonal variations of bromophenols in brown algae (*Padina arborescens*, *Sargassum siliquastrum*, and *Lobophora variegata*) collected in Hong Kong. *J. Agric. Food Chem.* 51, 2619–2624

Zhang, R., Zhang, X., Tang, Y., & Mao, J. (2020). Composition, isolation, purification and biological activities of *Sargassum fusiforme* polysaccharides: A review. *Carbohydrate polymers*, 228, 115381. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.115381

Zhen, X-H., Quan, Y-C., Jiang, H-Y., Wen, Z-S., Qu, Y-L., Guan, L-P. (2015) Fucosterol, a sterol extracted from *Sargassum fusiforme*, shows antidepressant and anticonvulsant effects. *European Journal of Pharmacology* 768, 131–138. DOI: 10.1016/j.ejphar.2015.10.041

Zubia, M., Payri, C., Deslandes, E. (2008) Alginate, mannitol, phenolic compounds and biological activities of two range-extending brown algae, *Sargassum mangarevense* and *Turbinaria ornata* (Phaeophyta: Fucales), from Tahiti (French Polynesia) *Journal of Applied Phycology*, 20(6) :1033–1043. DOI: 10.1007/s10811-007-9303-3