

Universidad de La Laguna  
Facultad de Ciencias: Sección de Biología  
Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología

**Caracterización lipídica de diferentes macroalgas  
procedentes de arribazones de las costas de Gran  
Canaria: implicaciones en la nutrición humana y  
animal y en la ecología trófica**

**Lipid characterization of different macroalgae  
obtained from macroalgal wracks from Gran Canaria  
coasts: implications for human and animal nutrition  
and for trophic ecology**

**Coraima del Mar García Delgado**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Grado en Biología. Septiembre 2021**

Tutorizado por Dra. Covadonga Rodríguez González y Ana Galindo Giménez

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WfXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

El presente trabajo forma parte del Proyecto Interreg MACBIOBLUE (MAC/1.1b/086), “Proyecto demostrativo y de transferencia tecnológica para ayudar a las empresas a desarrollar nuevos productos y procesos en el ámbito de la Biotecnología Azul de la Macaronesia”. Financiación: Interreg MAC 2014-2020 Cooperación Territorial.



**MACBIOBLUE**  
Nuevos Productos y Procesos en el Ámbito  
de la Biotecnología Azul de la Macaronesia



Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
*La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>*

Identificador del documento: 3785192      Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

# ÍNDICE

Resumen .....	1
1. Introducción .....	2
1.1. Macroalgas de arribazón. Importancia y aplicaciones. ....	2
1.2. Situación actual de la acuicultura. ....	3
1.3. Lípidos en macroalgas e importancia de los PUFA. ....	4
1.4. Importancia de las algas en ecología trófica. ....	6
1.5. Macroalgas seleccionadas para el estudio. ....	7
2. Objetivos.....	11
2.1. Objetivos específicos.....	11
3. Material y métodos.....	11
3.1. Obtención de muestras .....	11
3.2. Extracción lipídica .....	11
3.3. Determinación de clases lipídicas .....	12
3.4. Determinación del perfil de ácidos grasos.....	12
3.5. Análisis estadístico .....	14
4. Resultados y discusión.....	14
4.1. Lípido total y clases lipídicas.....	15
4.2. Ácidos grasos .....	20
5. Conclusiones.....	27
6. Bibliografía .....	28

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192      Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

## Resumen

Las algas son los principales productores primarios del medio marino y constituyen la base de las redes tróficas marinas. En el contexto del Proyecto MACBIOBLUE (MAC/1.1b/086), y con el fin de determinar el potencial de las macroalgas de arribazón de Canarias en nutrición animal y humana, así como de evaluar su papel en la ecología trófica se realizó la caracterización lipídica de 12 especies de macroalgas procedentes de arribazón en Gran Canaria. El presente estudio proporciona una amplia información de los perfiles lipídicos de estas algas, donde el contenido lipídico osciló en un rango de 0,27- 3,17%. Entre los perfiles de clases lipídicas se detectaron compuestos biológicamente interesantes como mono y digalactosildiacilgliceroles, fitoesteroles, diferentes fosfolípidos y una gran acumulación de pigmentos. Asimismo, dentro de los perfiles de ácidos grasos se detectaron biomarcadores interesantes y contenidos variables de PUFA y LC-PUFA. Los resultados permiten catalogar a algunas de estas algas como especies de especial interés para su explotación en nutrición y estudios de ecología trófica.

**Palabras clave:** ácidos grasos, arribazón, clases lipídicas, ecología trófica, macroalgas, nutrición

## Abstract

Algae are the main primary producers in the marine ecosystems, constructing the basis of marine food webs. 12 species of macroalgal wracks from Gran Canaria were analyzed in the context of the MACBIOBLUE Project (MAC / 1.1b / 086). Lipid analysis of macroalgae was performed in order to determine the potential of the Canary Island macroalgal wracks in animal and human nutrition, as well as to evaluate their role in trophic ecology. The present study provides extensive information on their lipid profiles where lipid contents ranged from 0.27% to 3.17%. Among the lipid class profiles, biologically interesting compounds such as mono and digalactosyldiacylglycerols, phytosterols, different phospholipids and a large accumulation of pigments were detected. Likewise, within the fatty acid profiles, interesting biomarkers and variable PUFA and LC-PUFA contents were found. Results obtained allow to define some of these seaweeds as species of special interest for their exploitation in nutrition and trophic ecology studies.

**Keywords:** fatty acids, macroalgal wracks, lipid classes, trophic ecology, macroalgae, nutrition

1

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

## 1. Introducción

### 1.1. Macroalgas de arribazón. Importancia y aplicaciones.

Los arribazones de macroalgas son un fenómeno natural principalmente desencadenado por temporales y fuertes oleajes en las zonas costeras. Sin embargo, los depósitos de algas en el litoral influyen negativamente en los usuarios que visitan las playas destinadas principalmente para el baño. Por ende, su retirada se hace inevitable, causando un problema de gestión de residuos, con un coste económico asociado y aumentando la sobreutilización de los vertederos. Por ello, se requiere la búsqueda de alternativas para el aprovechamiento de este recurso natural (Hahnefeld, 2008).

Una posible vía alternativa para gestionar estos “residuos”, está basada en la utilización de las algas como fuente sostenible de alimento. Durante siglos, especialmente en países asiáticos, las algas han sido una parte integral de la dieta de los humanos ya que suponen un gran aporte de nutrientes tales como proteínas, minerales, vitaminas, polisacáridos y ácidos grasos esenciales (Mouritsen, 2013). Además, son una fuente de fibras solubles capaces de prevenir el estreñimiento, la obesidad, las enfermedades cardiovasculares, e incluso el cáncer de colon (Nunes et al., 2017). En general, se ha demostrado que las algas marinas poseen moléculas bioactivas capaces de modular algunas enfermedades crónicas. Asimismo, aportan diversos beneficios a la salud humana entre los que destacan propiedades antioxidantes, antimetastásicas, antiinflamatorias, antitrombóticas, antidepresivas o neuroprotectoras, entre otras (Haroun et al., 2019).

Recientemente, también se contempla la utilización de macroalgas como ingredientes en alimentación acuícola. Se ha demostrado que la inclusión de porcentajes bajos (<10%) de macroalgas en la dieta tiene un efecto positivo en la eficiencia de la utilización del alimento y en el rendimiento del crecimiento, así como en la actividad fisiológica, la resistencia a enfermedades y la respuesta al estrés en peces (Vizcaíno et al., 2015). De esta forma, sustituir parte de un pienso comercial tradicional por una porción similar de macroalgas podría permitir el desarrollo normal de los peces, además de obtener efectos fisiológicos beneficiosos para la salud de estos, y a su vez, contribuir a la reducción en el uso de harinas y aceites procedentes del pescado (Cruz-Suárez et al., 2009).

Por otra parte, esta biomasa algal podría emplearse en el desarrollo de fertilizantes ecológicos (Illera-Vives et al., 2013). Las algas también se han empleado tradicionalmente para la explotación y obtención de compuestos ficocoloides como

2

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFxoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

alginato, agar-agar y carragenanos (APROMAR, 2020; Dellatorre et al., 2020). Otra de las aplicaciones más innovadoras es la utilización de la biomasa de macroalgas como recurso en la producción de biocombustibles, como el biofuel, que sustituyan a los de origen fósil (Gosch et al., 2012). Todo ello convierte a las macroalgas en un recurso valioso para el estudio y el desarrollo de actividades relacionadas con el sector de la biotecnología azul (Haroun et al., 2019).

## 1.2. Situación actual de la acuicultura.

Se estima que en 2050 la población mundial alcanzará los 9.700 millones de habitantes (United Nations, 2019). Por ello, la Unión Europea está apostando por buscar fuentes que proporcionen a la población alimentos nutritivos, seguros y asequibles. En 2018 la UE cosechó 1.365.112 toneladas de productos de acuicultura, siendo España el Estado miembro de la UE con una mayor cosecha de acuicultura. La creciente demanda global por los productos acuáticos ha permitido que la acuicultura alcance mayor relevancia en las últimas décadas. Sin embargo, en la actualidad, el mundo se encuentra en un momento crítico debido a la pandemia por la COVID-19. La pandemia ha afectado también a la actividad económica y al crecimiento que la acuicultura venía teniendo en los últimos años. Entre los efectos más directos destaca la reducción de ingresos por menores ventas y el incremento de los costes operativos debido a las restricciones laborales (APROMAR, 2020).

Ante el estancamiento de la pesca extractiva, la acuicultura es el sector con mayor capacidad para mantener la proporción de productos acuícolas en la dieta mundial, por lo que resulta de vital importancia garantizar su sostenibilidad para asegurar su crecimiento y expansión en el futuro (APROMAR, 2020). Sin embargo, tradicionalmente el sector de la acuicultura de animales carnívoros, ha dependido en exceso de productos pesqueros, de forma que hasta el 71% y 73% de aceite y harina de pescado, respectivamente, que se obtiene de las capturas se utilizan en la actividad acuícola (Shepherd & Jackson., 2013). Además, la intensificación y especialización de la producción acuícola aumenta la demanda de estos subproductos de pescado. Consecuentemente, disminuye la sostenibilidad ambiental de la actividad, y se produce un continuo encarecimiento de los ingredientes de los piensos, especialmente de las harinas de pescado, comprometiendo el futuro desarrollo de la acuicultura. El crecimiento de la acuicultura implica, por tanto, la búsqueda y el desarrollo de ingredientes alternativos sostenibles capaces de suplir los

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

requerimientos nutricionales de los peces y, a su vez, de aportar alimentos de alta calidad a los consumidores humanos (Tocher, 2015). En este contexto, el cultivo de macroalgas se ha propuesto como una actividad rentable, especialmente para las comunidades costeras. Esto es debido a su corto ciclo de producción, que además implica un bajo requerimiento de capital y el uso de una tecnología simple (Mahadevan, 2015). Las dos principales especies producidas mediante acuicultura en el mundo en 2017 han sido las algas laminaria japonesa o kombu (*Saccharina japonica*), con 11,2 millones de toneladas y el alga eucheuma (géneros *Eucheuma* y *Kappaphycus*), con 8,6 millones de toneladas producidos en países asiáticos fundamentalmente, en los que el cultivo de algas se ha convertido en una industria importante a diferencia de los países occidentales donde, hasta el momento, no ha existido una gran presión por el desarrollo de técnicas de cultivo de macroalgas (APROMAR 2020). Sin embargo, en España diferentes empresas acuícolas están comenzando a cultivar con éxito especies del género *Laminaria* y *Gracilaria* destinadas a consumo humano directo (APROMAR, 2020).

### 1.3. Lípidos en macroalgas e importancia de los PUFA.

Generalmente, las macroalgas poseen un contenido lipídico significativamente bajo, de entre el 1 y el 5% en peso seco, con respecto a las microalgas, que pueden llegar a contener hasta un 60% de su peso seco, o el pescado azul (~20-50% en peso seco) (Miyashita et al., 2013). No obstante, su composición lipídica presenta interés nutricional. Así, al ser un recurso natural con grandes poblaciones en las zonas costeras (Miyashita et al., 2013), son una fuente potencial de lípidos (Schmid et al., 2018).

Las clases lipídicas predominantes en algas son los glicolípidos y los fosfolípidos. Los orgánulos fotosintéticos de las algas se caracterizan por su abundancia en glicolípidos entre los que se incluyen el monogalactosildiacilglicerol (MGDG), el digalactosildiacilglicerol (DGDG) y el sulfoquinovosildiacilglicerol (SQDG), cruciales para mantener una eficiencia óptima en la fotosíntesis. Además, estos compuestos presentan propiedades antitumorales y antivirales, y son un gran potencial en el tratamiento de algunos trastornos autoinmunes. Dentro de los principales fosfolípidos destacan la fosfatidilcolina (FC), la fosfatidiletanolamina (FE) y el fosfatidilglicerol (FG). Otro de los lípidos más comunes en algas son los triacilgliceroles (TAG), un lípido de almacenamiento (Nakamura & Li-Beisson, 2016). Además, las algas marinas también son una fuente importante de pigmentos antioxidantes liposolubles, como la fucoxantina, y

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WfXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

de fitoesteroles, un componente capaz de reducir el colesterol en sangre, así como de inhibir el desarrollo de cáncer de colon (Tanna & Mishra, 2018).

Por otra parte, y a pesar, de su bajo contenido lipídico, las algas han despertado un gran interés en los últimos años por su alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). Los PUFA son aquellos ácidos grasos que presentan más de un doble enlace en su cadena hidrocarbonada. Se clasifican, según la posición del doble enlace más cercano al grupo metilo terminal, en serie n-3, n-6 o n-9. Destacan por sus diversas funciones esenciales en el metabolismo y fisiología humana y animal, siendo especialmente relevantes en la fisiología y bioquímica de los animales acuáticos donde, debido a las bajas temperaturas, los PUFA son particularmente abundantes. Así, son suministro de energía en forma de ATP, son precursores de determinados mediadores lipídicos y reguladores de la expresión génica (Zárate et al., 2017). También son componentes estructurales de las membranas biológicas, al formar parte de los fosfolípidos presentes en las membranas. Una mayor concentración de PUFA en las membranas aporta fluidez y permeabilidad, a la vez que facilita las interacciones celulares. Dentro de este grupo se incluye el 18:2n-6 (ácido linoleico; LA) y el 18:3n-3 (ácido  $\alpha$ -linolénico; ALA) precursores de los denominados PUFA de cadena larga (LC-PUFA), catalogados como esenciales, y que, tanto en humanos, como en otros organismos heterótrofos, deben obtenerse a través de la dieta (Pereira et al. 2012; Rossoll et al., 2012). Los LC-PUFA son los ácidos grasos poliinsaturados que presentan 20 o más átomos de carbono e incluyen el 20:4n-6 (ácido araquidónico; ARA), 20:5n-3 (ácido eicosapentaenoico; EPA) y 22:6n-3 (ácido docosahexaenoico; DHA). Los LC-PUFA se sintetizan mediante varios procesos de elongación y desaturación sobre los precursores de 18C. En humanos y en la mayoría de los animales marinos, sin embargo, la capacidad de síntesis de LC-PUFA se considera muy limitada, y deben adquirirse también mediante la dieta (Castro et al., 2016).

Las dietas occidentales actuales presentan un exceso de n-6 PUFA con respecto a los n-3 PUFAs (ratio 20:1), debido fundamentalmente a un incremento en la ingesta de aceites vegetales y productos derivados de estos aceites o de semillas de leguminosas (Innes & Calder, 2018). Mientras que los n-6 PUFA dan lugar, principalmente, a mediadores proinflamatorios derivados del ARA, los n-3 PUFA derivados de EPA (eicosanoides) y DHA (docosanoides) dan lugar a moléculas antiinflamatorias o neutras (Harwood et al., 2019). Además, las enzimas que participan en la síntesis de LC-PUFA son las mismas para la serie n-3 o n-6, lo que hace que los precursores compitan entre sí.

5

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06



Así, un aumento de los precursores n-6 frente a n-3 promoverá un aumento de los derivados n-6, lo que fomenta el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, artritis o demencia (Zárate et al., 2017). En este sentido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una relación de ingesta n-6/n-3 <10 (Sánchez-Machado et al., 2004). Por sus altas proporciones de n-3 PUFA, las algas son interesantes propuestas para consumo humano, así como sustitutos de harinas y aceites de pescado en los piensos de acuicultura e incluso como nutracéuticos (Gosch et al., 2012).

#### 1.4 Importancia de las algas en ecología trófica.

Las algas desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas marinos. Además de su actividad fotosintética, produciendo alimento, y de situarse en la base de la cadena trófica, son especies estructurantes, conformando ecosistemas propicios para la supervivencia de diversas especies marinas (Mouritsen et al., 2013). Es las zonas más cercanas al sustrato, es donde los animales como los erizos, las estrellas y las esponjas prosperan. Desde las primeras hojas de las algas marinas hasta la superficie del mar, se pueden encontrar animales como los cangrejos agarrándose en busca de alimento. Los cefalópodos, también pueden usar las algas marinas como camuflaje y muchos peces se alimentan de ellas o nadan, habitan y se camuflan entre las algas. Todas estas especies asociadas a las algas ocupan su propio nicho existiendo un delicado equilibrio en estos ecosistemas.

En las últimas décadas, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) han aumentado. Este gas de efecto invernadero es absorbido por los océanos provocando cambios químicos severos que conllevan a su acidificación. Aunque los efectos de la acidificación oceánica en la cadena trófica no se han estudiado en profundidad aún, se estudian hoy en día sus impactos indirectos en las relaciones tróficas. La acidificación oceánica altera la composición bioquímica de los productores primarios, como las algas, y, como consecuencia, su calidad nutricional se ve afectada. Este hecho tiene, finalmente, repercusión en los sucesivos consumidores de la cadena trófica (Rossoll et al., 2012).

Los perfiles lipídicos de las macroalgas, incluyendo su composición de ácidos grasos, dependen también de estos factores ambientales, de las condiciones de crecimiento, las variaciones estacionales y las etapas de desarrollo de las macroalgas (Harwood et al., 2019). El aumento de las temperaturas como consecuencia del calentamiento global influye sobre la composición bioquímica de las algas. En el proceso de aclimatación a

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFxoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

unas temperaturas crecientes, las algas alteran sus proporciones de ácidos grasos, disminuyendo el contenido de LC-PUFA en las membranas y aumentando la proporción de ácidos grasos saturados con el fin de adaptar las propiedades físico-químicas en sus membranas. Una menor producción por parte de las algas y, como consecuencia, una menor biodisponibilidad de LC-PUFA, implica graves consecuencias ecológicas como la disminución en la tasa de crecimiento, la competencia por los recursos o impactos en la reproducción de los organismos de los distintos niveles tróficos (Colombo et al., 2019).

Por otra parte, la biomasa de las macroalgas está influenciada por la presión de los herbívoros marinos. Los cambios de la temperatura de los océanos afectan también a la abundancia y el equilibrio de los ecosistemas. Una mayor abundancia de herbívoros supone una reducción de las poblaciones de productores primarios. Incluso se ha descrito que, como consecuencia del cambio climático, puede cambiar el tejido estructural de las algas, aumentando su susceptibilidad frente a los herbívoros (Rodríguez et al., 2018).

### 1.5 Macroalgas seleccionadas para el estudio.

**Tabla 1.** Relación de macroalgas seleccionadas para el estudio.

Filo	Clase	Familia	Especie
Chlorophyta	Ulvophyceae	Dasycladaceae	<i>Cymopolia barbata</i>
		Anadyomenaceae	<i>Anadyomene stellata</i>
Ochrophyta	Phaeophyceae	Stypocaulaceae	<i>Stypocaulon</i> sp.
		Dictyotaceae	<i>Lobophora</i> sp.
			<i>Dictyota</i> sp.
			<i>Taonia atomaria</i>
Rhodophyta	Florideophyceae	Corallinaceae	<i>Jania rubens</i>
			<i>Jania</i> sp.
		Liagoraceae	<i>Liagora</i> sp.
		Bonneomaisoniaceae	<i>Asparagopsis</i> sp.
		Rhodomelaceae	<i>Laurencia</i> sp.
		Cystocloniaceae	<i>Hypnea spinella</i>

Fuente: <https://www.algaebase.org>

Por todo lo comentado anteriormente, la caracterización lipídica de las macroalgas es esencial no solo por su potencial uso nutricional o como ingrediente de piensos animales, sino por su importancia en ecología trófica, en este sentido algunos ácidos grasos son interesantes como posibles biomarcadores quimiotaxonómicos. Para el presente estudio,

7

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFxoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

se han seleccionado 2 especies de algas verdes, 4 especies de algas pardas, y 6 especies de algas rojas (Tabla 1), provenientes todas ellas de arribazones llegados a la playa de las Canteras (Gran Canaria). Teniendo en cuenta el grado de deterioro de algunas algas en los arribazones, solo algunas de ellas han podido ser taxonómicamente identificadas a nivel de especie.

- **Chlorophyta**

-*Cymopolia barbata*. Talos pequeños. Ampliamente distribuida en Canarias. Se localiza en las costas del sur y este de las islas orientales y centrales. Forma masas cespitosas de color verde oscuro. Se asienta sobre sustratos rocosos con presencia de arena y detritus orgánicos (Afonso-Carrillo & Gil Rodríguez, 1982). En el entorno de esta especie se pueden encontrar gasterópodos, poliquetos, estrellas de mar, holoturias y peces (Aguilar et al., 2009).

-*Anadyomene stellata*. Talos erectos, en forma de láminas flabeladas, con forma ovada a reniforme, con márgenes lobulados, de hasta 6 cm de alto. De color verde o verde amarillento, semitranslúcidos, algo rígidos y fijos al sustrato mediante rizoides. Especie común y epifítica en el nivel inferior del piso mediolitoral y en zonas superficiales bien iluminadas del piso infralitoral, hasta 10 m de profundidad. Presente durante todo el año, aunque es más abundante en verano. Se localiza en el Mediterráneo, Atlántico e Indo Pacífico (Rodríguez-Prieto, 2013). En las comunidades donde se halla aparecen principalmente gasterópodos, anélidos poliquetos o crustáceos (Grande et al., 2006).

- **Ochrophyta**

-*Stypocaulon* sp. Especies que forman penachos compactos de color pardo de unos 10-15 cm de altura, constituidos por filamentos ramificados que se fijan al sustrato mediante rizoides que surgen de los ejes, formando una especie de disco esponjoso. La morfología y tamaño de los talos varía a lo largo del año. De distribución anfiatlántica, desde las costas nórdicas hasta costas africanas (Guerra García et al., 2010). Sobre especies de este género crecen crustáceos caprellidos y se encuentran asociados erizos como el *Diadema antillarum* (Hernández et al., 2007).

-*Lobophora* sp. Talos postrados o erectos constituidos por láminas flabeladas, de hasta 10 cm de diámetro, de color marrón oscuro, pardo o amarillento, con bandas concéntricas de crecimiento. Fijación al sustrato mediante rizoides, presentando tanto talos parcialmente libres como talos totalmente adheridos (costrosos). De desarrollo anual,

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

muy abundante en verano y otoño, epilítica en paredes del piso infralitoral. En mares cálidos de todo el mundo (Rodríguez-Prieto, 2013). En los ecosistemas donde habitan especies de este género albergan desde briozoos, poríferos, braquiópodos hasta peces como la cabrilla negra o el pejeverde, entre otros (Aguilar et al., 2009).

**-Dictyota sp.** Talos membranáceos, principalmente decumbentes o postrados, aplanados, ramificados de forma dicótoma o subdicótoma, alterna o irregular. Fijos al sustrato mediante una base plana, discoide o irregular. Su distribución es cosmopolita y abarca tanto aguas subtropicales como aguas templadas de Europa. Las especies de este género son difíciles de definir debido a su alto pleomorfismo (Rodríguez-Prieto, 2013). En las comunidades algales donde aparecen abundan cnidarios, gasterópodos, anélidos poliuetos, sipuncúlidos, crustáceos e incluso equinodermos como *Paracentrotus lividus* (Grande et al., 2006).

**-Taonia atomaria.** Talos erectos, de hasta 30 cm de alto, acintados, membranosos, pardos o verde amarillentos, cuneados y con bandas concéntricas más oscuras. Ramificación subdicótoma a irregular y con margen entero o dentado. Talos fijos al sustrato mediante una base rizoidal. Epilítica, propia del piso infralitoral, común en hábitats bien iluminados sometidos a un hidrodinamismo moderado. De desarrollo anual y abundante en primavera y verano. Se distribuye entre el Mediterráneo y el Atlántico oriental (Rodríguez-Prieto, 2013). Las comunidades que conforma están asociadas con equinodermos, cnidarios, diversos moluscos, artrópodos y peces (Martín-García et al., 2016).

- **Rhodophyta**

**-Jania sp./Jania rubens.** Talos constituidos por ejes erectos, delgados y frágiles, aunque rígidos, parcialmente calcificados y fijos por estolones basales delgados y con frecuencia recurvados. Pueden alcanzar hasta 5 cm de alto, de tono violáceo a rosa, blanquecino o grisáceo y presentando genículos e intergenículos. Dependiendo de la especie pueden fijarse al sustrato mediante estolones, base incrustante o discoide. Especie muy común como epífita de otras macroalgas de hábitats bien iluminados y expuestos del piso infralitoral. Ampliamente distribuida por las costas templadas y tropicales de todos los océanos (Rodríguez-Prieto, 2013). En los ecosistemas conformados por especies de *Jania* habitan principalmente equinodermos, gasterópodos, poliuetos, sipuncúlidos, crustáceos y cnidarios (Aguilar et al., 2009).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

**-*Liagora* sp.** Talos erectos, calcificados pero flexibles, de ramificación dicótoma, fijación al sustrato mediante una base discoide. Por lo general, los gametófitos son epilíticos comunes en primavera y verano. Crecen en ambientes bien iluminados y a menudo en zonas con cierta abrasión. Algunas especies del género se distribuyen por el Mediterráneo y las costas atlánticas adyacentes, así como en los archipiélagos de la Macaronesia (Rodríguez-Prieto, 2013). En las comunidades algales donde aparecen especies de *Liagora* habitan gasterópodos opistobranquios, crustáceos, estrellas de mar y peces como el tamboril (Aguilar et al., 2009).

**-*Asparagopsis* sp.** Talos de aspecto plumoso que forman grandes matas capaces de alcanzar hasta 30 cm de altura, fijados al sustrato mediante estolones. Algunas especies tienen carácter epifítico, habitando en lugares protegidos del hidrodinamismo; mientras que otras presentan carácter invasor en algunas regiones. Ampliamente distribuidas por los mares templados y tropicales de todo el planeta (Rodríguez-Prieto, 2013). Diversas especies de moluscos, crustáceos, equinodermos y peces están asociadas con las comunidades donde se localizan especies de este género (Aguilar et al., 2009).

**-*Laurencia* sp.** Especies de talos erectos y arbustivos, de consistencia flexible y algunas veces cartilaginosa. Se fijan al sustrato mediante una base discoide y, en ocasiones, mediante estolones. Los taxones de este género son difíciles de identificar ya que muestran una amplia variedad morfológica. Distribuidas en mares tropicales, subtropicales y templados. Fundamentalmente se localiza en la zona intermareal (Rodríguez-Prieto, 2013). En las comunidades asociadas a este género conviven desde especies sésiles como círripodos, esponjas incrustantes, cnidarios y briozoos hasta erizos como *Arbacia lixula* y verméticos (Grande et al., 2006).

**-*Hypnea spinella*.** Talos constituidos por ejes erectos que forman matas densas y enmarañadas de hasta 3 cm de altura. De color púrpura a malva pálido o verdoso, y de consistencia carnosa. Sin eje principal bien definido, con ramificación subdicótoma y con abundancia de ramos cortos, simples o ramificados. Los talos se fijan al sustrato mediante un pequeño disco basal. Crece normalmente sobre otras algas en zonas bien iluminadas del piso infralitoral. Puede ser epilítica y encontrarse en ambientes calmados poco profundos. Ampliamente distribuida por los mares tropicales o templado-cálidos de todo el mundo (Rodríguez-Prieto, 2013). En las comunidades algales en las que se encuentra conviven gasterópodos, poliquetos y crustáceos (Aguilar et al., 2009).

10

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es la caracterización lipídica de doce especies de macroalgas de arribazón procedentes de Canarias, con el fin de valorar su potencial para la aplicación en nutrición humana y acuícola, así como para evaluar el interés de su perfil lipídico en estudios de ecología trófica.

### 2.1 Objetivos específicos

- Determinación del contenido lipídico de las distintas especies de macroalgas.
- Caracterización del perfil de clases lipídicas.
- Caracterización del perfil de ácidos grasos.
- Evaluación del potencial de las especies para su aplicación en nutrición animal y humana.
- Evaluación del interés del perfil lipídico de las especies en estudios de ecología trófica.

## 3. Material y métodos

### 3.1. Obtención de muestras

Se recogieron las masas de algas provenientes de arribazón en la playa de las Canteras (Gran Canaria). Estas, fueron separadas y limpiadas para retirar los restos de arena, organismos asociados, microplásticos, etc. Posteriormente fueron identificadas y sometidas a un proceso de liofilización en el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC). Después, se trasladaron al laboratorio de Fisiología Animal en la Universidad de La Laguna (ULL) para su posterior análisis. Con el objetivo de homogeneizar las diferentes partes del alga, se trituraron y almacenaron a -20°C hasta su utilización.

### 3.2. Extracción lipídica

Para la extracción del lípido total (LT) se siguió una modificación del método de Folch-Lee (Folch et al., 1957) desarrollada por Christie & Han (2010). Todo el proceso se realizó en presencia de hielo para evitar la degradación lipídica. Se pesó unos 200 mg de cada muestra, por triplicado, en un tubo de ensayo. Seguidamente, se homogeneizaron con 10 ml de cloroformo metanol (2:1, v/v) batiendo en un homogeneizador (CASALS, Girona, España). El homogeneizado fue filtrado, recuperando el contenido en un tubo de ensayo limpio. A continuación, se añadió 2,5 ml de cloruro potásico (KCl) al 0,88% (w/v) a cada tubo y se agitaron fuertemente en vórtex. Las muestras se centrifugaron a 1500

11

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

rpm durante 5 min en una centrífuga (Beckman Coulter Allegra 25R, Indianapolis, USA) y se extrajo la fase liposoluble y se trasvasó a un nuevo tubo de ensayo. A continuación, se evaporó el solvente con un vaporizador de nitrógeno. Posteriormente, se trasvasó la muestra a un vial de cristal previamente pesado, y se volvió a evaporar el contenido. Después de mantener las muestras en condiciones de vacío y oscuridad durante toda la noche, se pesaron los viales y se determinó el contenido de LT por diferencia de pesadas. El extracto lipídico se resuspendió en cloroformo: metanol (2:1 v/v) con 0,01 % del antioxidante butilhidroxitolueno (BHT) a una concentración de 10 mg/mL. Se sellaron con nitrógeno, se etiquetaron y congelaron a -20°C hasta su análisis.

### 3.3. Determinación de clases lipídicas

La separación de clases lipídicas se realizó mediante una cromatografía en capa fina de alta resolución en placas HPTLC (High-performance thin-layer chromatography), mediante un doble desarrollo según Olsen y Henderson (1989). Las placas de sílica gel de 10x10 cm x 0,25 mm de grosor (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania) se lavaron previamente con dietil éter. A posteriori, se activaron en estufa a 110°C. Se pinchó 20 µg de cada muestra, y se añadió un estándar de hueva de bacalao de composición conocida. Para la correcta identificación de los, se usaron dos estándares comerciales: DGDG y SQDG (Avanti Polar Lipids, Inc., Alabama, USA).

Para la separación de lípidos polares (LP), se utilizó una solución consistente en isopropanol, cloroformo, metilacetato, metanol, KCl (0,25%) (5:5:2:1,8, por volumen). Para los lípidos neutros (LN) se utilizó una solución de hexano, éter, ácido acético (20:5:0,5, por volumen). Una vez completado el desarrollo de la placa, éstas se tiñeron de forma homogénea con un reactivo consistente en un 3% de acetato cúprico y un 8% de ortofosfórico en metanol, y se quemaron en la estufa a 160°C durante 10 minutos. Para visualizar el perfil de clases lipídicas, las placas se escanearon en CAMAG TLC visualizer (CAMAG, Muttenz, Suiza), usando el software winCATS, versión 1.4.4 y, la cuantificación se desarrolló mediante el software VideoScan versión 1.02.

### 3.4. Determinación del perfil de ácidos grasos

La determinación del perfil de ácidos grasos se realizó mediante cromatografía de gases. Para ello, se transmitió una fracción del extracto lipídico (1 mg) de cada muestra para obtener ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES; del inglés fatty acid methyl

12

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

esters). Luego, se añadió 1 ml de tolueno y 2 ml de ácido sulfúrico al 1% en metanol (v/v), lo que permite disolver y romper las cadenas hidrocarbonadas, liberar los ácidos grasos y añadir un grupo metilo que permite que sean volátiles. Las muestras selladas con nitrógeno se dejaron reaccionar durante 18 horas a 50°C en oscuridad. Una vez transcurrido el periodo de reacción se añadió 5 ml de hexano dietil éter (1:1, v/v) con BHT al 0,01 % y 2 ml de bicarbonato potásico (KHCO<sub>3</sub>) al 2% a las muestras previamente atemperadas. Posteriormente, se centrifugaron a 1500 rpm durante 5 minutos, y se transfirió la fase orgánica a un nuevo tubo de ensayo. Se realizó un nuevo lavado con hexano: dietil éter (1:1, v/v) y el solvente fue evaporado bajo atmósfera de nitrógeno.

La purificación de los FAMES se realizó mediante una cromatografía en capa fina (thin-layer chromatography, TLC), en placas de sílice de 20cm x 20cm x 0.25cm (Macherey-Nagel, Düren, Alemania). En cada placa se añadió, además de las muestras, un estándar externo para facilitar la posterior localización e identificación de la banda de FAMES. Las placas se desarrollaron en una mezcla de solventes de hexano, éter y ácido acético (90:10:1, por volumen). Una vez concluido el desarrollo de las placas se dejaron secar bajo campana extractora y, se tiñeron con yodina al 1% las bandas del estándar y del BHT. De esta forma, se delimitó la posición de los FAMES y se procedió a rascar la banda correspondiente con una espátula. La sílice raspada de cada muestra se recolectó en un tubo de ensayo y se añadió 8 mL de hexano éter y 2 ml de hexano éter con BHT. Los tubos se centrifugaron a 1500 rpm durante 5 minutos y se recuperó la fase superior con los FAMES purificados. Seguidamente, las muestras se evaporaron totalmente bajo atmósfera de nitrógeno, y se redisolviéron en hexano, trasvasándose a un vial de vidrio donde se almacenaron a -20°C hasta la determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases.

La cromatografía de gases se realizó en un cromatógrafo de gases (TRACE-GC Thermo Scientific, Milán, Italia) con inyector on column y detector de ionización de llama FID (Flame Ionitacion Detector), en una columna de sílice fundida y helio como gas portador. La identificación de los ácidos grasos se llevó a cabo mediante la utilización de un multiestándar con composición y tiempos de retención conocidos. Los valores obtenidos en cada muestra se expresaron en porcentaje total de ácidos grasos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFxoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06



### 3.5. Análisis estadístico

Los resultados del presente estudio se muestran como media  $\pm$  desviación estándar (SD). El estudio estadístico se realizó mediante el programa IBM SPSS Statistics 26.0. La normalidad de los datos se comprobó mediante el test Shapiro-Wilk y, la homogeneidad de las varianzas mediante el test de Levene. En las variables no normales o no homocedásticas se aplicaron las transformaciones de la raíz cuadrada del arcoseno o la transformación del logaritmo en base 10.

Las diferencias entre el LT, las clases lipídicas y los ácidos grasos de las algas verdes se determinaron mediante una t de Student, comparando las medias obtenidas entre las dos especies para una misma variable de manera independiente. En el caso de variables no normales, se aplicó la U de Mann-Whitney. Para las algas rojas y pardas, las diferencias se analizaron mediante un ANOVA de una vía, usando el test de Tukey como test post-hoc. En las variables de distribución normal pero que no cumplían la homocedasticidad, se realizó el estadístico de Welch, utilizando el test T3 de Dunnet como post-hoc. Las variables homocedásticas pero no normales se analizaron usando el test Kruskal-Wallis con ajuste de Bonferroni. Las diferencias fueron consideradas significativas para valores de  $p < 0,05$ .

Para evaluar el comportamiento de los ácidos grasos y clases lipídicas en el conjunto de todas las algas, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA), usando la rotación Varimax o Quartimax para mejorar la interpretabilidad de las componentes.

## 4. Resultados y discusión

En el presente trabajo se ha analizado el perfil lipídico de las algas de arribazón recolectadas en Gran Canaria. Aunque se ha realizado un análisis PCA para determinar las posibles agrupaciones de las algas en base a su perfil lipídico, tanto en clases lipídicas como en ácidos grasos, las correlaciones entre las variables fueron bajas. Así, con dos componentes no se observó una diferenciación clara entre algas. Además, las dos componentes principales explicaron solo el 50% de la varianza, necesitando 5 componentes para contener el 80% de la misma y, por tanto, no resultando útil para la interpretación de los datos. Por ello, no se incluyen los resultados correspondientes a los PCA de clases lipídicas y ácidos grasos, sino los resultados de los test estadísticos realizados dentro de cada grupo de algas, verdes pardas o rojas.

14

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

#### 4.1. Lípido total y clases lipídicas

El contenido lipídico muestra una amplia variabilidad en las doce especies analizadas. Por lo general, el contenido lipídico de las algas marinas es bajo, en torno a un 1-5% del lípido en peso seco (Kendel et al., 2015), lo que concuerda con las muestras analizadas. Las algas verdes presentan un contenido lipídico similar entre ambas especies (~ 2,10%; Tabla 2). Por otra parte, las algas pardas suelen presentar un mayor porcentaje de lípido (Miyashita et al., 2013). En el presente estudio, el mayor valor de lípido se registró en el alga parda *T. atomaria* ( $3,17 \pm 0,03\%$ ). No obstante, la especie *Stypocaulon* sp. presentó el menor contenido graso ( $0,62 \pm 0,06\%$ ), seguida de *Lobophora* sp. ( $1,16 \pm 0,17\%$ ) y *Dictyota* sp. ( $2,02 \pm 0,03\%$ ; Tabla 3). En general, las algas rojas presentaron un menor LT, variando entre  $0,27 \pm 0,06\%$  en *J. rubens* y  $1,58 \pm 0,23\%$  en *H. spinella* (Tabla 4).

Atendiendo a los perfiles de clases lipídicas de las distintas macroalgas de estudio se puede observar que en general, se de una gran acumulación de pigmentos (P) liposolubles, (15-38%), que pueden contener compuestos antioxidantes de interés farmacológico y nutricional, incluyendo el potente pigmento antioxidante fucoxantina (Nunes et al., 2017). El total de lípidos polares (TLP) oscila entre el 9% y el 22% en las distintas especies, siendo generalmente el glicolípido SQDG la más abundante. No obstante, debido a la polaridad del SQDG, corre en la placa unido al fosfolípido FE, no pudiendo ser posible separarlos para su correcta cuantificación. Componentes importantes de los polares en las especies estudiadas son también los galactolípidos DGDG y MGDG. Los galactolípidos son las clases lipídicas más abundantes en las membranas cloroplásticas (Lagunas, 2003) y, a nivel nutricional son interesantes ya que poseen diversas funciones biológicas importantes para la salud humana como actividad antitumoral y antiviral (Hossain & Takahashi, 2010) así como acción antitumoral en los organismos acuáticos (Kendel et al., 2015).

Además de los glicolípidos, los fosfolípidos más abundantes fueron la FC, la fosfatidilserina (FS) y el fosfatidilinositol (FI). Por otro lado, el contenido de lípidos neutros (TLN) es notablemente superior al de TLP en todos los grupos, oscilando en un rango del 40-60% en las distintas especies de estudio. Esto es debido principalmente a una gran acumulación de fitoesteros (FTS), ácidos grasos libres (AGL) y triacilgliceroles (TAG), y en algunos casos el lípido neutro desconocido (LND).

15

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

Dentro de las **algas verdes**, *C. barbata* destaca por la mayor proporción de TLP ( $22,08 \pm 3,22\%$  frente a  $11,49 \pm 1,11\%$  en *A. stellata*), debido principalmente a una gran acumulación de DGDG ( $6,85 \pm 0,95\%$ ) y SQDG + FE ( $9,92 \pm 0,60\%$ ) en *C. barbata*. La proporción de FC tiende a ser mayor también en *C. barbata*, aunque sin diferencias significativas. Sin embargo, *A. stellata* presenta un mayor valor de P ( $\sim 28\%$  vs.  $\sim 21\%$ ). Aunque el TLN es similar entre ambas especies, existen diferencias en el contenido de FTS y de TAG, siendo ambos más elevados en *A. stellata* ( $17,03\%$  y  $8,65\%$ , vs.  $11,01 \pm 0,52\%$  y  $5,83 \pm 0,10\%$ , respectivamente; Tabla 2). No obstante, el contenido de ésteres de esteroles (EE) fue superior en *C. barbata* ( $2,90\%$  frente a  $0,83\%$ ).

En las **algas pardas** analizadas se puede evidenciar una gran variabilidad entre los perfiles de clases lipídicas. *Stypocaulon* sp. tendió a presentar un mayor contenido de TLP (sin diferencias significativas), debido al mayor contenido de FC ( $3,56\%$  vs.  $1,11-2,33\%$  en las otras especies). Aunque en el grupo Dictyotales se ha descrito una generalizada ausencia de FC (Wielgosz-Collin et al., 2016), en el presente estudio, al igual que en Galindo et al. (2021) se detectaron pequeñas proporciones de este fosfolípido de especial importancia estructural en los organismos acuáticos (Alhaji et al., 2020). La mayor proporción de P se encontró en *Stypocaulon* sp. con un  $33\%$ . La fucoxantina, habitual en las algas pardas y con gran potencial antiobesidad, se ha detectado en esta especie (Carter et al., 1939). En cuanto al TLN, destacó especialmente su proporción en *Dictyota* sp. y *Lobophora* sp. ( $57-60\%$ ), debido a una mayor acumulación de LND y de TAG y EE en *Lobophora* sp., y *Dictyota* sp., respectivamente (Tabla 3).

*Asparagopsis* sp. destaca en las **algas rojas** por su alto contenido en TLP ( $20,08 \pm 3,38\%$ ), debido a una gran proporción de MGDG y FC. Está descrito que la FC es uno de los principales fosfolípidos en las algas rojas (Hold & Kraan, 2002), acorde a las algas estudiadas donde varió entre  $1,88$  y  $4,27\%$ . Otro aspecto destacable es el alto contenido en P que presentan *Asparagopsis* sp. y *Liagora* sp. ( $36-38\%$  vs.  $15-28\%$  en el resto de especies). Carotenoides de actividad antioxidante como la luteína y la zeaxantina pueden encontrarse entre estos pigmentos (Schubert et al., 2006). Respecto a los TLN, se observa un porcentaje superior al  $65\%$  en *Laurencia* sp. e *H. spinella* debido a un alto contenido en LND que no ha sido posible determinar mediante las técnicas utilizadas. Se requieren otros estudios, con mezclas de solventes distintas, para poder establecer la identidad de estos compuestos en un futuro (Tabla 4).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WfXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

**Tabla 2.** Composición de las principales clases lipídicas de las algas verdes (% de lípido total) y contenido lipídico (% peso seco).

	<i>Cymopolia barbata</i>	<i>Anadyomene stellata</i>
FC	2,68 ± 1,44	0,96 ± 0,27
FS+FI	1,23 ± 0,60	2,97 ± 0,42 *
SQDG+FE	9,88 ± 0,65	3,41 ± 0,38 *
DGDG	6,82 ± 0,98	3,22 ± 0,54 *
MGDG	2,63 ± 1,05	1,89 ± 0,30
<b>TLP</b>	23,24 ± 3,28	12,45 ± 1,27 *
P	21,20 ± 1,04	28,25 ± 1,63 *
DAG	7,63 ± 1,23	7,77 ± 0,28
FTS	10,96 ± 0,46	17,03 ± 0,55 *
AGL	11,82 ± 0,41	12,22 ± 0,38
TAG	5,81 ± 0,07	8,65 ± 0,56 *
EE	2,90 ± 0,97	0,83 ± 0,09 *
LND	16,45 ± 1,06	12,80 ± 0,47 *
<b>TLN</b>	55,57 ± 2,84	59,30 ± 0,82
<b>LT</b>	2,10 ± 0,16	2,13 ± 0,36

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (n=3). FC, Fosfatidilcolina; FS, Fosfatidilserina; FI, Fosfatidilinositol; SQDG, Sulfoquinovosildiacilglicerol; FE, Fosfatidiletanolamina; DGDG, Digalactosildiacilglicerol; MGDG, Monogalactosildiacilglicerol; TLP, total de lípidos polares; P, Pigmentos; DAG, digalactosildiacilglicerol; FTS, Fitoesteroles; AGL, Ácidos grasos libres; TAG, triglicéridos; EE, ésteres de esteroles; LND, lípido neutro desconocido; TLN, Total de lípidos neutros; LT, lípido total. \*Indica diferencias significativas (P<0,05).

En general, las algas analizadas presentaron un porcentaje importante de FTS (9-19%), destacando las algas rojas *J.rubens*, *Liagora* sp. o *Asparagopsis* sp. Estos compuestos, son capaces de aportar beneficios a la salud humana y animal, como propiedades antioxidantes, antiinflamatorias o antimicrobianas, además de propiedades anti-hipercolesterolemia y anti-hipertriglicerolemia, (Hannan et al., 2020). Por ello, las algas estudiadas podrían ser potenciales candidatas nutricionales para la prevención de enfermedades cardiovasculares y trastornos inflamatorios que son cada vez más habituales en el mundo occidental (Zárate et al., 2017). A su vez, los FTS tienen la capacidad de aumentar la cohesión en las membranas generando una mayor resistencia frente a los cambios de temperatura (Beck et al., 2007). Por ende, es de prever que aquellas macroalgas con mayor contenido de FTS tengan cierta ventaja ante los cambios de temperatura debido al cambio climático.

**Tabla 3.** Composición de las principales clases lipídicas de algas pardas (% de lípido total) y contenido del lípido total (% lípido peso seco).

	<i>Stypocaulon</i> sp.	<i>Lobophora</i> sp.	<i>Dictyota</i> sp.	<i>T. atomaria</i>
FC	3,49 ± 1,23 <sup>b</sup>	1,11 ± 0,12 <sup>a</sup>	1,14 ± 0,39 <sup>a</sup>	1,22 ± 0,54 <sup>a</sup>
FS+FI	2,88 ± 0,64	2,64 ± 0,82	3,51 ± 0,62	3,85 ± 0,96
SQDG+FE	8,09 ± 2,24	4,62 ± 0,89	4,12 ± 0,78	7,99 ± 2,72
DGDG	5,59 ± 2,02	3,40 ± 0,52	2,12 ± 0,55	3,75 ± 1,62
MGDG	2,71 ± 0,56	2,26 ± 0,76	2,11 ± 0,51	3,13 ± 1,39
<b>TLP</b>	22,76 ± 4,63 <sup>b</sup>	14,04 ± 2,71 <sup>ab</sup>	13,01 ± 2,20 <sup>a</sup>	19,93 ± 3,60 <sup>ab</sup>
P	34,36 ± 3,06 <sup>b</sup>	25,40 ± 1,81 <sup>a</sup>	30,22±3,17 <sup>ab</sup>	35,85 ± 1,59 <sup>a</sup>
DAG	7,89 ± 0,80 <sup>a</sup>	7,81 ± 0,10 <sup>a</sup>	9,39 ± 0,70 <sup>a</sup>	13,72 ± 1,31 <sup>b</sup>
FTS	15,86 ± 1,53	17,79 ± 1,64	16,97 ± 0,94	15,25 ± 2,32
AGL	9,35 ± 1,08	9,33 ± 0,36	13,55 ± 2,81	5,56 ± 1,51
TAG	4,66 ± 0,36 <sup>a</sup>	12,36 ± 1,32 <sup>b</sup>	5,59 ± 1,84 <sup>a</sup>	3,66 ± 0,44 <sup>a</sup>
EE	0,92 ± 0,09 <sup>a</sup>	1,46 ± 0,08 <sup>ab</sup>	1,96 ± 0,52 <sup>b</sup>	0,54 ± 0,39 <sup>c</sup>
LND	4,19 ± 1,26 <sup>a</sup>	11,80 ± 1,60 <sup>b</sup>	9,31 ± 1,03 <sup>b</sup>	5,50 ± 0,47 <sup>a</sup>
<b>TLN</b>	42,88 ± 2,13 <sup>a</sup>	60,56 ± 2,13 <sup>b</sup>	56,78 ± 4,02 <sup>b</sup>	44,22 ± 3,40 <sup>a</sup>
<b>LT</b>	0,62 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,16 ± 0,17 <sup>a</sup>	2,02 ± 0,03 <sup>b</sup>	3,17 ± 0,03 <sup>c</sup>

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (n=3). FC, Fosfatidilcolina; FS, Fosfatidilserina; FI, Fosfatidilinositol; SQDG, Sulfoquinovosildiacilglicerol; FE, Fosfatidiletalonamina; DGDG, Digalactosildiacilglicerol; MGDG, Monogalactosildiacilglicerol; TLP, Total de lípidos polares; P, Pigmentos; DAG, digalactosildiacilglicerol; FTS, Fitoesteroles; AGL, Ácidos grasos libres; TAG, Triglicéridos; EE, Esteres de esteroles; LND, Lípido neutro desconocido; TLN, Total de lípidos neutros; LT, lípido total. nd, No detectado. \* Indica diferencias significativas (P<0,05).

En la mayoría de las algas, se aprecia un contenido superior de AGL frente al de TAG. La relación AGL/TAG se ha descrito como un reflejo de la actividad metabólica, ya que, como parte del catabolismo lipídico, los AGL son liberados a partir de los TAG para su oxidación y obtención de energía. No obstante, un nivel elevado de AGL puede ser indicio de la degradación de los tejidos por actuación de las lipasas debido a que las muestras no fueron congeladas inmediatamente. Las algas analizadas son especies procedentes de arribazón, que pasaron un tiempo en la costa antes de ser limpiadas y procesadas. En cambio, las acumulaciones de TAG se ven favorecida por el estrés (Nakamura & Li-Beisson 2016), pudiendo ser una respuesta a cambios ambientales desfavorables. En este sentido, *Lobophora* sp. es una de las especies de estudio con mayor proporción de TAG (12,36 ± 1,32%) frente a la de AGL (9,33 ± 0,36%).

18

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

**Tabla 4.** Composición de las principales clases lipídicas de las algas rojas analizadas (% lípido total) y contenido del lípido total (% lípido peso seco).

	<i>Jania rubens</i>	<i>Jania sp.</i>	<i>Liagora sp.</i>	<i>Asparagopsis sp.</i>	<i>Laurencia sp.</i>	<i>Hypnea spinella</i>
FC	2,33 ± 0,25 <sup>a</sup>	3,32 ± 0,06 <sup>abc</sup>	1,88 ± 0,39 <sup>ab</sup>	4,27 ± 0,26 <sup>c</sup>	2,33 ± 0,61 <sup>ab</sup>	2,55 ± 0,45 <sup>a</sup>
FS+FI	1,15 ± 0,12	1,55 ± 0,33	2,65 ± 1,39	2,27 ± 0,58	1,59 ± 0,22	1,44 ± 0,57
SQDG+FE	2,94 ± 0,09 <sup>ab</sup>	5,26 ± 0,77 <sup>bc</sup>	4,68 ± 1,74 <sup>abc</sup>	9,02 ± 2,31 <sup>abc</sup>	2,34 ± 0,33 <sup>a</sup>	5,68 ± 0,20 <sup>c</sup>
DGDG	2,83 ± 0,36	2,67 ± 0,74	3,62 ± 2,38	3,26 ± 0,66	2,47 ± 0,45	3,42 ± 0,42
MGDG	2,36 ± 0,19 <sup>a</sup>	3,01 ± 1,05 <sup>ab</sup>	2,76 ± 1,45 <sup>ab</sup>	5,53 ± 0,14 <sup>b</sup>	2,83 ± 0,40 <sup>a</sup>	2,04 ± 0,31 <sup>a</sup>
<b>TLP</b>	11,61 ± 0,34 <sup>ab</sup>	15,82 ± 0,87 <sup>cd</sup>	15,57 ± 7,00 <sup>bc</sup>	24,35 ± 3,11 <sup>bd</sup>	11,56 ± 1,25 <sup>ac</sup>	15,14 ± 0,99 <sup>bc</sup>
P	28,35 ± 1,59 <sup>b</sup>	27,77 ± 2,94 <sup>b</sup>	37,75 ± 3,34 <sup>c</sup>	36,48 ± 1,82 <sup>c</sup>	15,46 ± 0,77 <sup>a</sup>	17,73 ± 0,97 <sup>a</sup>
DAG	5,93 ± 0,44 <sup>b</sup>	5,88 ± 0,43 <sup>b</sup>	3,69 ± 1,16 <sup>ab</sup>	4,18 ± 0,58 <sup>ab</sup>	3,10 ± 1,84 <sup>a</sup>	6,32 ± 0,77 <sup>b</sup>
FTS	19,48 ± 0,33 <sup>c</sup>	13,95 ± 2,46 <sup>b</sup>	19,36 ± 1,53 <sup>c</sup>	19,19 ± 2,01 <sup>c</sup>	12,45 ± 0,75 <sup>ab</sup>	9,37 ± 0,79 <sup>a</sup>
AGL	14,06 ± 1,47 <sup>b</sup>	16,64 ± 0,60 <sup>b</sup>	10,07 ± 0,86 <sup>a</sup>	7,28 ± 1,09 <sup>a</sup>	23,56 ± 0,79 <sup>c</sup>	15,23 ± 0,86 <sup>b</sup>
TAG	5,59 ± 1,12 <sup>a</sup>	12,55 ± 2,71 <sup>b</sup>	6,70 ± 3,24 <sup>ab</sup>	5,86 ± 3,08 <sup>a</sup>	2,12 ± 1,17 <sup>a</sup>	4,78 ± 1,54 <sup>a</sup>
EE	5,08 ± 0,82	1,14 ± 0,11	1,54 ± 0,12	2,65 ± 1,25	4,30 ± 1,39	3,22 ± 1,51
LND	9,91 ± 2,10 <sup>a</sup>	6,26 ± 1,36 <sup>a</sup>	5,32 ± 0,23 <sup>a</sup>	nd	27,46 ± 0,40 <sup>b</sup>	28,22 ± 3,70 <sup>b</sup>
<b>TLN</b>	60,04 ± 1,52 <sup>bc</sup>	56,41 ± 3,12 <sup>b</sup>	46,68 ± 3,74 <sup>a</sup>	39,16 ± 4,91 <sup>a</sup>	72,98 ± 0,71 <sup>c</sup>	67,13 ± 1,56 <sup>c</sup>
<b>LT</b>	0,27 ± 0,06 <sup>ac</sup>	0,55 ± 0,08 <sup>ab</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,57 ± 0,15 <sup>bc</sup>	0,92 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,58 ± 0,23 <sup>d</sup>

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (n=3). FC, Fosfatidilcolina; FS, Fosfatidilserina; FI, Fosfatidilinositol; SQDG, Sulfoquinovosildiacilglicerol; FE, Fosfatidiletanolamina; DGDG, Digalactosildiacilglicerol; MGDG, Monogalactosildiacilglicerol; TLP, total de lípidos polares; P, Pigmentos; DAG, digalactosildiacilglicerol; FTS, Fitoesteroles; AGL, Ácidos grasos libres; TAG, triglicéridos; EE, ésteres de esteroil; LND, lípido neutro desconocido; TLN, Total de lípidos neutros; LT, lípido total. nd, No detectado. \*Indica diferencias significativas (P<0,05).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFxoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

## 4.2. Ácidos grasos

La composición de ácidos grasos de las **algas verdes** varió notablemente entre las dos especies (Tabla 5). El total de ácidos grasos saturados (SFA) fue más elevado en *A. stellata* ( $39,47 \pm 2,52\%$  vs.  $25,29 \pm 1,96\%$ ) especialmente por la abundancia de 16:0 (~27%). En general, las algas verdes se caracterizan por presentar principalmente ácidos grasos de 16C y 18C (Khotimchenko et al., 2002). En cambio, el contenido en ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) fue superior en *C. barbata* ( $31,84 \pm 1,37\%$  vs.  $20,33 \pm 0,25\%$ ), siendo el 18:1n-7 ( $15,27 \pm 0,67\%$ ) el más abundante. La mayor presencia de SFA suele guardar relación con ambientes cálidos, donde no es tan necesaria una mayor insaturación del entorno fosfolipídico de las membranas para mantener su fluidez y permeabilidad. No obstante, un mayor grado de insaturación resulta esencial en las especies de aguas más frías. Por otra parte, diversos estudios han demostrado que las algas verdes contienen grandes cantidades de PUFA 16:3 y 16:4, con el 16:4 descrito como un ácido graso taxonómicamente característico en las algas verdes (Johns et al., 1979). En las algas analizadas se ha detectado el 16:3n-4 y además, el 16:2n-4 en *C. barbata*. Debido al alto contenido de 16:2n-4 (~7%) en *C. barbata*, no puede descartarse que sea también una característica taxonómica de esta especie, siendo al menos un biomarcador de interés en futuros estudios de ecología trófica en organismos con actividad de herbivoría sobre esta especie.

El contenido de n-6 PUFA fue similar entre las dos especies (~20%), aunque el LA, el ARA y el 20:3n-6 fueron mayores en *A. stellata*, mientras *C. barbata* presentó una mayor proporción de 18:3n-6. Las algas verdes presentan un perfil similar al de las plantas terrestres, siendo característicos los 18:2 y 18:3 (Kendel et al., 2015). En ambas especies de algas verdes, se encontraron altas proporciones de LA, precursor del ARA, y en *C. barbata*, de 18:3n-6. Este último ácido graso y su derivado, el 20:3n-6, son considerados de gran interés hoy en día como nutraceutico, al generar eicosanoides farmacológicamente activos (Zárate et al., 2017).

Finalmente, el porcentaje de n-3 PUFA es superior en *A. stellata* ( $15,93 \pm 1,35\%$  vs.  $7,93 \pm 0,30\%$ ), debido a una proporción mayor de ALA, EPA y ácido estearidónico (SDA, 18:4n-3). El SDA, un intermediario en la ruta de síntesis de EPA y DHA a partir de ALA, que ha demostrado también beneficios tanto en la incorporación y síntesis de EPA en humanos, como por las propiedades farmacológicas directas de los derivados eicosanoides de su producto de elongación el 20:4n-3, presentando beneficios fisiológicos parecidos al EPA (Zárate et al., 2017). Además, mientras que *A. stellata* presenta proporciones bajas de DHA ( $0,97 \pm 0,35\%$  vs.  $2,05 \pm 0,11\%$ ),

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

es destacable su contenido en EPA (~9%). Por tanto, por su contenido en LA, SDA, EPA y ARA, *A. stellata* se presenta como una fuente interesante en estos ácidos grasos desde el punto de vista de la nutrición y la salud humana y animal. Puede ser considerada, además, un alga importante desde el punto de vista de la ecología trófica ya que aporta cantidades importantes de los LC-PUFA ARA y EPA a depredadores herbívoros.

Los SFA (37-50%) fueron también un componente importante en las **algas pardas** (Tabla 6), nuevamente debido a las altas proporciones de 16:0 (28-38%). Ello denota que son fuentes energéticas importantes, para sus depredadores, especialmente en las algas de mayor aporte lipídico, al ser los SFA ácidos grasos altamente susceptibles de oxidación para la obtención de ATP. El contenido de MUFA destacó en *T. atomaria* (~45%), debido principalmente a la abundancia de un ácido graso poco frecuente, el 16:1n-5, que presenta un contenido del ~18%. Aunque en menor medida, este ácido graso también es abundante en *Dictyota* sp. (~6%). Se ha demostrado que el contenido inusual de 16:1n-5 es una característica quimiotaxonomía del género Dictyopteris y Dictyota (Khotimchenko,1995). Sin embargo, encontrarlo en otras especies como *T. atomaria* puede indicar que se encuentra más extendido en otros géneros de la familia Dictyotaceae. Se trata de un biomarcador relevante para ecología trófica y que pone de manifiesto la utilidad e importancia de realizar la caracterización lipídica de las macroalgas.

Por otro lado, *Dictyota* sp. y *Lobophora* sp. destacaron por su contenido en ARA (~6%), presentando ambas también mayor proporción de n-6 PUFA. Es destacable también el porcentaje de EPA ( $6,12 \pm 0,97\%$ ) encontrado en *Lobophora* sp., mientras que en ninguna de las especies se detectó DHA. Acorde al presente estudio, las algas pardas se caracterizan por sus niveles relativamente altos de EPA, ARA, LA y SDA (Dellatorre et al., 2020). Determinadas especies de erizos como *P. lividus* (erizo de mar) o *Arbacia lixula* (erizo negro) se alimentan de especies del género *Lobophora* y *Dictyota* (Rodríguez et al., 2018), dos de las algas pardas presentes en este estudio. ARA y EPA son dos LC-PUFA esenciales y costosos de obtener en la naturaleza. Ambos juegan papeles relevantes en la osmorregulación, respuesta al estrés y respuesta inmune, y el ARA es además esencial en la esteroidogénesis para la formación de los gametos (Khajeh et al., 2017). Se ha demostrado que la composición lipídica de macroalgas puede variar por factores ambientales (Verma et al., 2017), y que el perfil de ácidos grasos de los tejidos refleja la dieta del animal (González-Durán et al., 2008). Por tanto, este sería un claro ejemplo donde los cambios ambientales que afectan al planeta pueden potencialmente modificar la composición lipídica de las macroalgas y afectar al metabolismo de los depredadores y eslabones superiores

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06



de la ecología trófica. Se prevé que estos cambios afectarán a la capacidad reproductiva, cognitiva, visual y depredadora de los organismos, a consecuencia del calentamiento global (Glencross, 2009; Colombo et al. 2019).

En las **algas rojas** (Tabla 7), los SFA variaron entre el 54-71%, siendo mayoritario el 16:0. Los MUFA supusieron fueron 19-30% del total de ácidos grasos, estando principalmente representados por MUFA de 18C. Las algas rojas suelen ser ricas en 18:1n-9 (Schmid et al., 2018), como ocurre en las analizadas en el presente trabajo, siendo *H. spinella* la de mayor contenido. Además, por su abundancia en SFA y MUFA, las algas rojas son interesantes a nivel de ecología trófica ya que estos ácidos grasos son importantes energéticamente para la beta-oxidación y el control de la adaptación homeoviscosa de las membranas.

Entre los n-6 PUFA destacan el ARA y el LA en todas las especies, siendo *H. spinella* la que presenta una proporción significativamente superior de ambos ácidos grasos ( $5,49 \pm 0,13\%$  y  $6,61 \pm 0,22\%$ , respectivamente). Los n-3 PUFA, fueron mayores en *Jania* sp. y *H. spinella*, debido a un mayor contenido en EPA ( $6,14 \pm 1,19\%$ ) y en ALA ( $2,54 \pm 0,06\%$ ), respectivamente. En cambio, la presencia de DHA solo se detecta en tres especies, destacando por su porcentaje, *Jania* sp. ( $4,28 \pm 0,98\%$ ). Está descrito que en la mayoría de las algas rojas son predominantes el ARA y el EPA (Kendel et al., 2015), lo que se corresponde con los datos obtenidos. Concretamente, el perfil de ácidos grasos de *Jania* sp. destaca por tener el mayor contenido en EPA y DHA en este filo, lo que la convierte en un alga de especial interés en nutrición acuícola y humana y en la nutrición de los organismos en su medio natural. Por lo tanto, se evidencia en este estudio que algunas algas rojas pueden ser fuente de ácidos grasos omega-3 (Sánchez-Machado et al., 2004), que desempeñan un papel crucial en la prevención de enfermedades cardiovasculares e inmunológicas, e intervienen en el desarrollo cerebral y visual (Zárate et al., 2017). Asimismo, son de vital importancia en los organismos acuáticos ya que juegan un amplio papel en su metabolismo, desde el desarrollo visual y depredador, hasta el control endocrino y la reproducción (Glencross, 2009).

Es destacable comentar que, en comparación con *Jania* sp., *Jania rubens* tiene un perfil totalmente diferente donde no se detecta DHA y su contenido de EPA es muy bajo, lo que, en base a su perfil de ácidos grasos, la convierte en un alga de poco interés a nivel nutricional y de ecología trófica. Esto evidencia que las variaciones en los perfiles lipídicos entre las algas pueden no estar tan asociadas necesariamente a su relación filogenética, sino que otros factores,

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFxoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

incluyendo las condiciones ambientales y su capacidad adaptativa al medio en que habitan, pueden estar afectando de manera relevante a esta composición.

Aunque el contenido lipídico de las macroalgas es generalmente bajo, las proporciones de PUFA encontradas suelen ser mayores que las de plantas terrestres (Wielgosz-Collin et al., 2016), no habiéndose descrito planta terrestre alguna que aporte ARA, EPA o DHA. Además, en las algas, los PUFA están implicados en los procesos fotosintéticos, de forma que un aumento de PUFA incrementa la actividad fotosintética (Miyashita et al., 2013). Ya que la presencia de PUFA en las membranas está influida por la temperatura, una interrupción en la producción de n-3 PUFA en los productores primarios provocada a consecuencia del cambio climático, puede afectar a la eficiencia de fotosíntesis. Esto reduce la disponibilidad de EPA y DHA de los niveles superiores de la cadena trófica, pudiendo llegar a afectar finalmente a los humanos (Colombo et al., 2019).

A nivel global, las 12 macroalgas de estudio presentan una relación n-6/n-3 que oscila entre 0,69 – 2,5%. Según la recomendación establecida por la OMS, estas algas serían interesantes para su consumo ya que presentan un ratio de n6/n3 inferior a 10. Sin embargo, para poder recomendarlas para nutrición humana o animal, deberían realizarse estudios de viabilidad económica, de bioseguridad alimentaria y toxicidad.

En resumen, y como se puede deducir de los resultados obtenidos, la variabilidad de composición lipídica en las algas es muy alta, acorde a lo descrito previamente (Galindo et al., 2021). Su perfil lipídico puede cambiar atendiendo a la entidad taxonómica, a factores geográficos, ambientales o estacionales, entre otros (Miyashita et al., 2013). Por tanto, los estudios de caracterización lipídica son interesantes ya que complementan información sobre el potencial que puede tener la explotación sostenible de determinadas macroalgas en la industria de la biotecnología azul. Además, al ser las principales fuentes de energía y de LC-PUFA, estos trabajos pueden aportar valiosa sobre el papel ecológico que tienen las macroalgas en los ecosistemas marinos.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

**Tabla 5.** Composición de los principales ácidos grasos de las algas verdes analizadas (% total de ácidos grasos).

	<i>Cymopolia barbata</i>	<i>Anadyomene stellata</i>
14:0	1,03 ± 0,11	9,01 ± 0,62 *
15:0	nd	0,70 ± 0,08
16:0	21,55 ± 1,06	27,23 ± 1,96 *
17:0	nd	0,39 ± 0,02
18:0	1,29 ± 0,92	1,40 ± 0,05
Σ SFA	25,29 ± 1,96	39,47 ± 2,52 *
16:1n-11	3,66 ± 0,52	3,87 ± 0,13
16:1n-7	3,59 ± 0,07	1,17 ± 0,09 *
16:1n-5	0,44 ± 0,01	0,33 ± 0,06 *
Σ 16:1	7,69 ± 0,58	5,35 ± 0,23 *
18:1n-9	7,61 ± 0,20	11,99 ± 0,32 *
18:1n-7	15,27 ± 0,67	1,09 ± 0,08 *
Σ 18:1	23,12 ± 0,87	13,45 ± 0,49 *
Σ MUFA	31,84 ± 1,37	20,33 ± 0,25 *
16:2n-4	7,16 ± 0,37	nd
16:3n-4	1,52 ± 0,09	0,32 ± 0,20 *
18:3n-4	0,24 ± 0,02	0,26 ± 0,12
18:2n-6	8,70 ± 0,37	9,78 ± 0,25 *
18:3n-6	9,75 ± 0,69	2,16 ± 0,14 *
20:3n-6	0,35 ± 0,01	0,95 ± 0,10 *
20:4n-6	0,99 ± 0,06	6,90 ± 0,81 *
Σ n-6 PUFA	19,79 ± 1,12	20,00 ± 1,28
18:3n-3	0,76 ± 0,02	1,02 ± 0,05 *
18:4n-3	2,25 ± 0,06	4,28 ± 0,27 *
20:5n-3	1,70 ± 0,12	9,26 ± 0,78 *
22:6n-3	2,05 ± 0,11	0,97 ± 0,35 *
Σ n-3 PUFA	7,93 ± 0,30	15,93 ± 1,35 *
Σ n-3 LC-PUFA	4,92 ± 0,27	10,66 ± 1,09 *
Σ PUFA	37,42 ± 1,56	36,64 ± 2,63
n-6/n-3	2,50 ± 0,05	1,26 ± 0,04 *
DHA/EPA	1,20 ± 0,03	0,10 ± 0,03 *
ARA/EPA	0,58 ± 0,02	0,74 ± 0,03 *

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (n=3). SFA, ácidos grasos saturados; MUFA, ácidos grasos monoinsaturados; PUFA, ácidos grasos poliinsaturados; LC-PUFA, ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (≥C20 y ≥3 dobles enlaces). nd, No detectado. \*Indica diferencias significativas (P<0,05).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

**Tabla 6.** Composición de los principales ácidos grasos de las algas pardas analizadas (% total de ácidos grasos).

	<i>Stypocaulon</i> sp.	<i>Lobophora</i> sp.	<i>Dictyota</i> sp.	<i>Taonia atomaria</i>
14:0	5,72 ± 0,26 <sup>a</sup>	8,09 ± 1,08 <sup>ab</sup>	7,79 ± 0,20 <sup>b</sup>	4,95 ± 0,26 <sup>a</sup>
15:0	0,96 ± 0,08	0,68 ± 0,15	0,99 ± 0,03	1,05 ± 0,21
16:0	38,31 ± 1,27 <sup>b</sup>	29,11 ± 1,07 <sup>a</sup>	28,36 ± 0,62 <sup>a</sup>	28,35 ± 0,86 <sup>a</sup>
17:0	0,47 ± 0,04	0,12 ± 0,20	0,17 ± 0,15	nd
18:0	3,37 ± 0,55 <sup>ab</sup>	2,70 ± 1,79 <sup>ab</sup>	1,86 ± 0,09 <sup>b</sup>	1,18 ± 0,12 <sup>a</sup>
Σ SFA	50,53 ± 1,68 <sup>c</sup>	42,22 ± 0,43 <sup>b</sup>	40,34 ± 0,89 <sup>b</sup>	36,71 ± 0,89 <sup>a</sup>
16:1n-11	5,19 ± <sup>a</sup>	3,10 ± 1,73 <sup>ab</sup>	4,45 ± 0,11 <sup>b</sup>	4,05 ± 0,60 <sup>ab</sup>
16:1n-7	3,54 ± 0,17 <sup>c</sup>	3,32 ± 1,50 <sup>abc</sup>	1,88 ± 0,05 <sup>a</sup>	2,26 ± 0,05 <sup>b</sup>
16:1n-5	1,42 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>a</sup>	6,21 ± 0,10 <sup>c</sup>	18,23 ± 0,30 <sup>d</sup>
Σ 16:1	10,58 ± 0,52 <sup>b</sup>	7,17 ± 0,21 <sup>a</sup>	12,54 ± 0,19 <sup>c</sup>	24,80 ± 0,62 <sup>d</sup>
18:1n-9	10,04 ± 0,16 <sup>a</sup>	14,05 ± 2,94 <sup>ab</sup>	16,30 ± 0,01 <sup>b</sup>	17,05 ± 0,42 <sup>b</sup>
18:1n-7	5,88 ± 0,75 <sup>c</sup>	3,38 ± 0,46 <sup>b</sup>	1,23 ± 0,27 <sup>a</sup>	1,46 ± 0,33 <sup>a</sup>
Σ 18:1	16,52 ± 0,77 <sup>a</sup>	17,80 ± 3,39 <sup>ab</sup>	18,5 ± 0,31 <sup>ab</sup>	19,63 ± 0,88 <sup>b</sup>
Σ MUFA	28,60 ± 1,39 <sup>a</sup>	25,73 ± 3,81 <sup>a</sup>	31,35 ± 0,70 <sup>a</sup>	44,77 ± 2,05 <sup>b</sup>
16:2n-4	nd	0,25 ± 0,10	nd	nd
16:3n-4	nd	nd	0,26 ± 0,01	nd
18:3n-4	nd	0,34 ± 0,13	nd	nd
18:2n-6	6,47 ± 1,25 <sup>c</sup>	8,89 ± 0,21 <sup>d</sup>	2,89 ± 0,08 <sup>b</sup>	1,03 ± 0,05 <sup>a</sup>
18:3n-6	0,29 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,56 ± 0,09 <sup>b</sup>	0,41 ± 0,02 <sup>a</sup>	nd
20:3n-6	0,23 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,89 ± 0,11 <sup>b</sup>	0,72 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,31 ± 0,02 <sup>a</sup>
20:4n-6	3,08 ± 0,82 <sup>a</sup>	5,99 ± 0,78 <sup>b</sup>	6,45 ± 0,03 <sup>b</sup>	1,63 ± 0,49 <sup>a</sup>
Σ n-6 PUFA	10,24 ± 2,31 <sup>b</sup>	17,32 ± 1,10 <sup>c</sup>	11,2 ± 0,08 <sup>b</sup>	5,80 ± 1,00 <sup>a</sup>
18:3n-3	2,17 ± 0,45 <sup>b</sup>	1,00 ± 0,16 <sup>a</sup>	2,62 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,61 ± 0,09 <sup>a</sup>
18:4n-3	1,63 ± 0,41 <sup>a</sup>	2,66 ± 0,57 <sup>a</sup>	4,28 ± 0,16 <sup>b</sup>	2,49 ± 0,59 <sup>a</sup>
20:5n-3	1,70 ± 0,36 <sup>a</sup>	6,12 ± 0,97 <sup>b</sup>	2,66 ± 0,10 <sup>a</sup>	1,57 ± 0,43 <sup>a</sup>
22:6n-3	nd	nd	nd	nd
Σ n-3 PUFA	5,71 ± 1,39 <sup>a</sup>	10,26 ± 1,77 <sup>b</sup>	10,61 ± 0,38 <sup>b</sup>	5,24 ± 1,32 <sup>a</sup>
Σ n-3 LC-PUFA	1,91 ± 0,55 <sup>a</sup>	6,60 ± 1,05 <sup>b</sup>	3,70 ± 0,20 <sup>a</sup>	2,15 ± 0,66 <sup>a</sup>
Σ PUFA	15,96 ± 3,70 <sup>ab</sup>	28,88 ± 3,00 <sup>c</sup>	22,21 ± 0,66 <sup>bc</sup>	11,28 ± 2,48 <sup>a</sup>
n-6/n-3	1,80 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,71 ± 0,22 <sup>ab</sup>	1,06 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,12 ± 0,12 <sup>a</sup>
DHA/EPA	---	---	---	---
ARA/EPA	1,79 ± 0,11 <sup>b</sup>	0,98 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,42 ± 0,09 <sup>c</sup>	1,03 ± 0,04 <sup>a</sup>

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (n=3). SFA, ácidos grasos saturados; MUFA, ácidos grasos monoinsaturados; PUFA, ácidos grasos poliinsaturados; LC-PUFA, ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (≥C20 y ≥3 dobles enlaces). nd, No detectado. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

**Tabla 7.** Composición de los principales ácidos grasos de las algas rojas analizadas (% total de ácidos grasos).

	<i>Jania rubens</i>	<i>Jania</i> sp.	<i>Liagora</i> sp.	<i>Asparagopsis</i> sp.	<i>Laurencia</i> sp.	<i>Hypnea spinella</i>
14:0	5,15 ± 0,09 <sup>b</sup>	5,57 ± 0,26 <sup>bc</sup>	6,18 ± 0,35 <sup>c</sup>	12,82 ± 0,64 <sup>d</sup>	12,01 ± 0,21 <sup>d</sup>	3,66 ± 0,06 <sup>a</sup>
15:0	1,55 ± 0,02 <sup>c</sup>	1,12 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,96 ± 0,19 <sup>abc</sup>	0,88 ± 0,02 <sup>ab</sup>	2,36 ± 0,04 <sup>d</sup>	0,79 ± 0,08 <sup>a</sup>
16:0	49,05 ± 0,41 <sup>c</sup>	35,68 ± 1,76 <sup>a</sup>	59,55 ± <sup>d</sup>	51,05 ± 2,24 <sup>bcd</sup>	48,17 ± 0,76 <sup>c</sup>	42,35 ± 0,52 <sup>ab</sup>
17:0	0,68 ± 0,10 <sup>b</sup>	0,57 ± 0,03 <sup>bc</sup>	0,43 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,01 <sup>ac</sup>	0,33 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,46 ± 0,02 <sup>ac</sup>
18:0	2,80 ± 0,06 <sup>bc</sup>	3,03 ± 0,36 <sup>c</sup>	2,57 ± <sup>bc</sup>	2,27 ± 0,07 <sup>ab</sup>	1,91 ± 0,20 <sup>a</sup>	4,79 ± 0,27 <sup>d</sup>
Σ SFA	60,33 ± 0,36 <sup>bc</sup>	46,59 ± 2,45 <sup>a</sup>	71,30 ± 1,13 <sup>f</sup>	68,34 ± 2,36 <sup>def</sup>	65,48 ± 0,89 <sup>cd</sup>	54,43 ± 2,51 <sup>ab</sup>
16:1n-11	5,72 ± 0,30 <sup>e</sup>	2,27 ± 0,18 <sup>b</sup>	3,72 ± 0,17 <sup>d</sup>	1,58 ± 0,13 <sup>a</sup>	3,26 ± 0,09 <sup>cd</sup>	3,18 ± 0,13 <sup>c</sup>
16:1n-7	3,15 ± 0,06 <sup>b</sup>	4,09 ± 0,20 <sup>c</sup>	3,34 ± 0,05 <sup>bc</sup>	3,60 ± 0,18 <sup>bc</sup>	2,14 ± 0,19 <sup>a</sup>	1,73 ± 0,02 <sup>a</sup>
16:1n-5	0,97 ± 0,13 <sup>cd</sup>	0,73 ± 0,08 <sup>ab</sup>	0,77 ± 0,03 <sup>ab</sup>	0,71 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,12 ± 0,04 <sup>d</sup>	0,92 ± 0,05 <sup>bc</sup>
Σ 16:1	9,85 ± 0,19 <sup>e</sup>	7,56 ± 0,35 <sup>c</sup>	8,46 ± <sup>d</sup>	6,40 ± 0,18 <sup>b</sup>	7,00 ± 0,13 <sup>c</sup>	5,82 ± 0,19 <sup>a</sup>
18:1n-9	8,46 ± 0,38 <sup>b</sup>	12,71 ± 0,26 <sup>d</sup>	5,78 ± 0,48 <sup>a</sup>	9,48 ± 1,75 <sup>abc</sup>	10,12 ± 0,26 <sup>c</sup>	15,85 ± 0,30 <sup>e</sup>
18:1n-7	6,31 ± 0,10 <sup>e</sup>	3,77 ± 0,21 <sup>c</sup>	2,85 ± 0,17 <sup>b</sup>	5,56 ± 0,11 <sup>d</sup>	2,65 ± 0,16 <sup>b</sup>	0,80 ± 0,01 <sup>a</sup>
Σ 18:1	15,54 ± 0,45 <sup>cd</sup>	17,00 ± 0,52 <sup>d</sup>	8,90 ± 0,33 <sup>a</sup>	15,48 ± 1,75 <sup>abc</sup>	13,36 ± 0,11 <sup>bc</sup>	17,02 ± 0,30 <sup>d</sup>
Σ MUFA	27,91 ± 0,25 <sup>cd</sup>	29,67 ± 1,01 <sup>d</sup>	18,88 ± 0,61 <sup>a</sup>	22,86 ± 1,46 <sup>abc</sup>	21,42 ± 0,23 <sup>a</sup>	23,37 ± 0,09 <sup>b</sup>
16:2n-4	nd	nd	nd	0,24 ± 0,09 <sup>nd</sup>	nd	nd
16:3n-4	nd	nd	0,16 ± 0,14 <sup>nd</sup>	nd	nd	nd
18:3n-4	nd	nd	0,03 ± 0,06 <sup>nd</sup>	0,98 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,03 <sup>nd</sup>	6,61 ± 0,22 <sup>d</sup>
18:2n-6	2,58 ± 0,19 <sup>b</sup>	3,59 ± 0,28 <sup>c</sup>	1,19 ± 0,14 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,07 <sup>nd</sup>	2,23 ± 0,35 <sup>b</sup>	0,26 ± 0,01 <sup>nd</sup>
18:3n-6	nd	0,31 ± 0,05 <sup>nd</sup>	nd	0,28 ± 0,02 <sup>nd</sup>	0,35 ± 0,05 <sup>nd</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>nd</sup>
20:3n-6	nd	0,48 ± 0,08 <sup>nd</sup>	0,32 ± <sup>nd</sup>	1,09 ± 0,08 <sup>a</sup>	2,70 ± 0,17 <sup>b</sup>	5,49 ± 0,13 <sup>c</sup>
20:4n-6	1,04 ± 0,14 <sup>a</sup>	3,79 ± 0,70 <sup>ab</sup>	0,77 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,74 ± 0,27 <sup>a</sup>	5,58 ± 0,56 <sup>bc</sup>	12,9 ± 0,04 <sup>d</sup>
Σ n-6 PUFA	3,87 ± 0,04 <sup>ab</sup>	8,92 ± 1,18 <sup>cd</sup>	2,35 ± 0,26 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,44 ± 0,06 <sup>a</sup>	2,54 ± 0,06 <sup>c</sup>
18:3n-3	1,15 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,99 ± 0,11 <sup>b</sup>	0,49 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,02 <sup>ab</sup>	0,47 ± 0,06 <sup>b</sup>	1,59 ± 0,11 <sup>c</sup>
18:4n-3	0,27 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,15 ± 0,15 <sup>c</sup>	0,47 ± 0,13 <sup>b</sup>	0,62 ± 0,07 <sup>a</sup>	2,30 ± 0,13 <sup>d</sup>	1,25 ± 0,11 <sup>bc</sup>
20:5n-3	0,96 ± 0,06 <sup>b</sup>	6,14 ± 1,19 <sup>e</sup>	1,53 ± 0,17 <sup>c</sup>	0,21 ± 0,09 <sup>a</sup>	nd	nd
22:6n-3	nd	4,28 ± 0,98 <sup>c</sup>	0,52 ± 0,10 <sup>b</sup>	0,21 ± 0,09 <sup>a</sup>	nd	nd
Σ n-3 PUFA	2,38 ± 0,12 <sup>b</sup>	12,97 ± 2,54 <sup>c</sup>	3,01 ± 0,34 <sup>b</sup>	1,60 ± 0,05 <sup>a</sup>	3,29 ± 0,30 <sup>b</sup>	5,83 ± 0,31 <sup>c</sup>
Σ n-3 LC-PUFA	0,96 ± 0,06 <sup>a</sup>	10,82 ± 2,28 <sup>ab</sup>	2,05 ± 0,27 <sup>ab</sup>	0,83 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,38 ± 0,24 <sup>b</sup>	1,71 ± 0,16 <sup>b</sup>
Σ PUFA	6,25 ± 0,09 <sup>bc</sup>	21,89 ± 3,73 <sup>ab</sup>	5,56 ± 0,50 <sup>ab</sup>	4,76 ± 0,22 <sup>a</sup>	9,43 ± 0,24 <sup>cd</sup>	18,85 ± 0,39 <sup>e</sup>
n-6/n-3	1,63 ± 0,09 <sup>b</sup>	0,69 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,78 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,72 ± 0,22 <sup>b</sup>	1,70 ± 0,02 <sup>b</sup>	2,22 ± 0,12 <sup>c</sup>
DHA/EPA	---	0,69 ± 0,04 <sup>---</sup>	0,34 ± 0,04 <sup>---</sup>	0,35 ± 0,19 <sup>---</sup>	---	---
ARA/EPA	1,08 ± 0,08 <sup>c</sup>	0,62 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,50 ± 0,04 <sup>a</sup>	1,76 ± 0,08 <sup>d</sup>	1,17 ± 0,04 <sup>c</sup>	4,40 ± 0,27 <sup>e</sup>

Los datos se expresan como media ± desviación estándar (n=3). SFA, ácidos grasos saturados; MUFA, ácidos grasos monoinsaturados; PUFA, ácidos grasos poliinsaturados; LC-PUFA, Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (≥C20 y ≥3 dobles enlaces). nd, No detectado. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFxoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

## 5. Conclusiones

1. El alto contenido de DGDG y MGDG en algunas de las algas presentes en este estudio como *Stypocaulon* sp. o *C. barbata* las convierte en un potencial recurso beneficioso para la salud por las propiedades antitumorales que presentan estas clases lipídicas.
2. El alto contenido de FTS de algunas especies como *J.rubens*, *Liagora* sp. o *Asparagopsis* sp. ofrece a estas algas una mayor resistencia frente al calentamiento global. También las hace interesantes de cara al consumo humano por la capacidad de los FTS para disminuir el nivel de colesterol en plasma.
3. El generalmente elevado contenido de EPA que presentan las algas de estudio y su baja relación n-6/n-3 convierte a las algas en potenciales candidatas a su explotación desde un punto de vista nutricional. Esto unido a una rápida producción y a un bajo costo económico en condiciones de cultivo, las convierte en un recurso interesante en la industria asociada a la biotecnología azul.
4. El estudio del perfil lipídico de las macroalgas de arribazón de las costas de Gran Canaria ha permitido identificar algunos biomarcadores útiles que ofrecen información sobre la entidad taxonómica de aplicación en estudios ecología trófica.
5. Los estudios de caracterización lipídica de las algas permiten detectar cambios en su composición ocasionados por factores ambientales como los asociados al cambio climático, y estudiar sus consecuencias como la reducción de la disponibilidad de EPA y DHA en distintos niveles tróficos.

## Conclusions

1. The high content of DGDG and MGDG in some of the seaweeds present in this study such as *Stypocaulon* sp. or *C. barbata* makes of them a potential beneficial resource for human health due to the antitumor properties reported for these lipid classes.
2. The high content of FTS found in some species such as *J.rubens*, *Liagora* sp. or *Asparagopsis* sp. offers these seaweeds a greater resistance to global warming. It also makes them interesting for human consumption due to the ability of FTS to decrease plasma cholesterol levels.
3. The usually high EPA content of the seaweeds studied, and their low n-6/n-3 ratio make these seaweeds potential candidates to be exploited from a nutritional point of

27

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

view, This, together with high production rates and low cost under culture conditions, make them an interesting resource in the blue economy industry.

4. The study of lipid profiles from macroalgal wracks of Gran Canaria coasts allowed to identify useful biomarkers that offer taxonomic information with applicability in climate change and trophic ecology studies.
5. Lipid characterization studies of macroalgae permit to detect changes in their composition caused by environmental factors such as those associated with climate change, and also to study their consequences, such as the reduction of EPA and DHA at different trophic levels.

## 6. Bibliografía

- Afonso-Carrillo, J., & Gil-Rodríguez, M. C. (1982).** Collectanea botánica. Vol. 13 (2): 703-708. IV Simposi de Botánica Criptogámica Barcelona.
- Aguilar, R., Torriente, A., & García, S. (2009).** Propuesta de Áreas Marinas de Importancia Ecológica. *Zona galaico-cantábrica. Oceana-Fundación Biodiversidad.*
- Alhaji, M.J., Montero, N., Yarce, C.J. and Salamanca, C.H. (2020).** Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. *Cosmetics* 7(4): 87.
- APROMAR (2020).** La acuicultura en España.
- Beck, J.G., Mathieu, D., Loudet, C., Buchoux, S., Dufource, E.J. (2007).** Plant sterols in “rafts”: a better way to regulate membrane thermal shocks. *FASEB.* (21),1714-1723.
- Carter, P. W., Heilbron, I. M., & Lythgoe, B. (1939).** The lipochromes and sterols of the algal classes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 128(850), 82-109.
- Castro, L. F. C., Tocher, D. R., & Monroig, O. (2016).** Long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in chordates: Insights into the evolution of Fads and Elovl gene repertoire. *Progress in lipid research*, 62, 25-40.
- Christie, W.W. & Han, Xi. (2010).** Lipid analysis. Isolation, separation, identification and lipidomic analysis. Vol 24. In the Oily Press Lipid Library. Fourth edition, 95-117.
- Colombo, S. M., Rodgers, T. F., Diamond, M. L., Bazinet, R. P., & Arts, M. T. (2020).** Projected declines in global DHA availability for human consumption as a result of global warming. *Ambio*, 49(4), 865-880.
- Cruz-Suárez, L. E., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M. G., Guajardo-Barbosa, C., & Ricque-Marie, D. (2009).** Comparison of *Ulva clathrata* and the kelps *Macrocystis pyrifera* and *Ascophyllum nodosum* as ingredients in shrimp feeds. *Aquaculture Nutrition*, 15(4), 421-430.
- Dellatorre, F. G., Avaro, M. G., Commendatore, M. G., Arce, L., & de Vivar, M. E. D. (2020).** The macroalgal ensemble of Golfo Nuevo (Patagonia, Argentina) as a potential source of valuable fatty acids for nutritional and nutraceutical purposes. *Algal Research*, 45, 101726.
- Folch, J., Lees, M., y Stanley, G. S. (1957).** A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of biological chemistry*, 226: 497-509.
- Galindo, A., Reis, D.B., Rodríguez, I., Pérez, J.A., Abdul-Jalbar, B., et al., (2021).** Lipid characterization of fourteen macroalgal species from Madeira Archipelago: implications for animal and human nutrition. Submitted.
- Glencross, B. D. (2009).** Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Reviews in Aquaculture*, 1(2), 71-124.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

- González-Durán, E., Castell, J. D., Robinson, S. M., & Blair, T. J. (2008).** Effects of dietary lipids on the fatty acid composition and lipid metabolism of the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Aquaculture*, 276(1-4), 120-129.
- Gosch, B. J., Magnusson, M., Paul, N. A., & de Nys, R. (2012).** Total lipid and fatty acid composition of seaweeds for the selection of species for oil-based biofuel and bioproducts. *Gcb Bioenergy*, 4(6), 919-930.
- Grande, J. C., Manrique, M. D. P., & León, B. M. (Eds.). (2006).** Las comunidades marinas, p. 1-58. En: Identificación de las áreas compatibles con la figura de " Parque Nacional" en España. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente.
- Guerra García, J. M., Sánchez, J. A., Ros Clemente, M., Baeza-Rojano Pageo, E., Cabezas Rodríguez, M. D. P., et al., (2010).** Macrofauna asociada al alga *Stypocaulon scoparium* en el Estrecho de Gibraltar y comparación con el resto de la Península Ibérica. *Almoraima*, 40, 123-132.
- Hahnefeld, E. P. (2008).** Arribazones de algas y plantas marinas en Gran Canaria (1.a ed.). Las Palmas de Gran Canaria, España: Instituto Tecnológico de Canarias, Departamento de Biotecnología.
- Haroun, R., Gil-Rodríguez, M. C., Neto, A. I., Machín-Sánchez, M., & Viera-Rodríguez, M. A. (2019).** A review of current uses and potential biotechnological applications of seaweeds from the Macaronesian region (Central-East Atlantic Ocean). *Journal of Applied Phycology*, 31(6), 3777-3790.
- Harwood, J. L. (2019).** Algae: critical sources of very long-chain polyunsaturated fatty acids. *Biomolecules*, 9(11), 708.
- Hold, S.L. & Kraan, S. (2011).** Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.*, 23, 543–597.
- Hossain, Z., & Takahashi, K. (2012).** Health benefits of bio-functional marine lipids. In *Second International Congress on Seafood Technology on Sustainable, Innovative and Healthy Seafood* (p. 209).
- Illera-Vives, M., Labandeira, S. S., & López-Mosquera, M. E. (2013).** Production of compost from marine waste: evaluation of the product for use in ecological agriculture. *Journal of applied phycology*, 25(5), 1395-1403.
- Innes, J. K., & Calder, P. C. (2018).** Omega-6 fatty acids and inflammation. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 132, 41-48.
- Johns, R.B.; Nichols, P.D.; Perry, G.J. (1979).** Fatty acid composition of ten marine algae from Australian waters. *Phytochemistry*, 18, 799–802.
- Kendel, M., Wielgosz-Collin, G., Bertrand, S., Roussakis, C., Bourgougnon, N., & Bedoux, G. (2015).** Lipid composition, fatty acids and sterols in the seaweeds *Ulva armoricana*, and *Solieria chordalis* from Brittany (France): An analysis from nutritional, chemotaxonomic, and antiproliferative activity perspectives. *Marine drugs*, 13(9), 5606-5628.
- Khajeh, M., Rahbarghazi, R., Nouri, M., & Darabi, M. (2017).** Potential role of polyunsaturated fatty acids, with particular regard to the signaling pathways of arachidonic acid and its derivatives in the process of maturation of the oocytes: Contemporary review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 94, 458-467.
- Khotimchenko, S. V. (1995).** Uncommon 16: 1 (n-5) acid from *Dictyota dichotoma* and fatty acids of some brown algae of Dictyotaceae. *Phytochemistry*, 38(6), 1411-1415.
- Khotimchenko, S. V., Vaskovsky, V. E. & Titlyanova, T. V. (2002).** Fatty acids of marine algae from the Pacific coast of North California. *Botanica Marina*, 45(1), 17-22.
- Mahadevan, K. (2015).** Seaweeds: a sustainable food source. In *Seaweed sustainability*. Academic Press. pp. 347-364
- Martín-García, L., Brito-Izquierdo, I., & Brito-Hernández, A. (2016).** Bionomía bentónica de las Reservas Marinas de Canarias (España). *Comunidades y hábitats bentónicos del infralitoral*, 181.
- Miyashita, K., Mikami, N., & Hosokawa, M. (2013).** Chemical and nutritional characteristics of brown seaweed lipids: A review. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1507-1517.
- Mouritsen, O. G. (2013).** *Seaweeds: edible, available, and sustainable*. University of Chicago Press, 283 pp.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06



- Nakamura, Y., & Li-Beisson, Y. (Eds.). (2016).** *Lipids in plant and algae development* (Vol. 86). New York: Springer.
- Nunes, N., Ferraz, S., Valente, S., Barreto, M. C., & De Carvalho, M. P. (2017).** Biochemical composition, nutritional value, and antioxidant properties of seven seaweed species from the Madeira Archipelago. *Journal of Applied Phycology*, 29(5), 2427-2437.
- Olsen, R.E & Henderson, R.J. (1989).** The rapid analysis of neutral and polar marine lipids using double-development HPTLC and scanning densitometry, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 129(2), 189-197.
- Pereira, H., Barreira, L., Figueiredo, F., Custódio, L., Vizetto-Duarte, C., et al., (2012).** Polyunsaturated fatty acids of marine macroalgae: potential for nutritional and pharmaceutical applications. *Marine drugs*, 10(9), 1920-1935.
- Rodríguez, A., Clemente, S., Brito, A., Hernández, J.C. (2018).** Effects of ocean acidification on algae growth and feeding rates of juvenile sea urchins, *Marine Environmental Research.*, 140, 382-389.
- Rodríguez-Prieto C., Ballesteros, E., Boisset, F., Afonso-Carrillo, J. (2013).** *Guía de las macroalgas y fanerógamas marinas del Mediterráneo occidental*. Omega.
- Rossoll, D., Bermúdez, R., Hauss, H., Schulz, K. G., Riebesell, U., Sommer, U., & Winder, M. (2012).** Ocean acidification-induced food quality deterioration constrains trophic transfer. *PLoS one*, 7(4), e34737.
- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Lopez-Hernandez, J., & Paseiro-Losada, P. (2004).** Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food chemistry*, 85(3), 439-444.
- Schmid, M., Kraft, L. G., van der Loos, L. M., Kraft, G. T., Virtue, P., et al., (2018).** Southern Australian seaweeds: a promising resource for omega-3 fatty acids. *Food chemistry*, 265, 70-77.
- Schubert, N., García-Mendoza, E., & Pacheco-Ruiz, I. (2006).** Carotenoid composition of marine red algae 1. *Journal of Phycology*, 42(6), 1208-1216.
- Shepherd, C. J., & Jackson, A. J. (2013).** Global fishmeal and fish-oil supply: inputs, outputs and marketsa, 83(4),1046-1066.
- Tanna, B., & Mishra, A. (2018).** Metabolites unravel nutraceutical potential of edible seaweeds: An emerging source of functional food. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(6), 1613-1624.
- Tocher, D. R. (2015).** Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94-107.
- United Nations (2019).** World population prospects 2019.
- Verma, P., Kumar, M., Mishra, G. and Sahoo, D. (2017).** Multivariate analysis of fatty acid and biochemical constituents of seaweeds to characterize their potential as bioresource for biofuel and fine chemicals. *Bioresour Technol* 226: 132-144.
- Vizcaíno, A. J., Mendes, S. I., Varela, J. L., Ruiz-Jarabo, I., Rico, R., et al., (2015).** Growth, tissue metabolites and digestive functionality in *Sparus aurata* juveniles fed different levels of macroalgae, *Gracilaria cornea* and *Ulva rigida*. *Aquaculture research*, 47(10), 3224-3238.
- Wielgosz-Collin, G., Kendel, M., & Couzinet-Mossion, A. (2016).** Lipids, fatty acids, glycolipids, and phospholipids. In *Seaweed in health and disease prevention* (pp. 185-221). Academic Press.
- Zárate, R., el Jaber-Vazdekis, N., Tejera, N., Pérez, J. A., & Rodríguez, C. (2017).** Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clinical and translational medicine*, 6(1), 1-19.

#### Fuentes web:

- <https://www.algaebase.org>

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192

Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06

## Agradecimientos

Desde mi primera clase con la Dra. Covadonga Rodríguez tuve claro con quien quería realizar mi Trabajo de Fin de Grado. Estaré eternamente agradecida por la gran oportunidad que me ha brindado. Esta experiencia ha sido muy enriquecedora para mí ya que me ha permitido adquirir nuevos conocimientos, así como afianzar aquellos que ya tenía. Me gustaría agradecerle también su ayuda en la interpretación de mis datos y su aporte de conocimientos tan interesantes.

Por otra parte, me gustaría hacer una mención especial a mi cotutora Ana Galindo, la persona que desde el minuto uno ha estado conmigo en la realización de mi TFG. Desde el trabajo de laboratorio, la obtención y procesado de los datos hasta la redacción. Sin duda alguna, no he podido aprender de alguien mejor. Muchas gracias por la paciencia, dedicación y apoyo. Me has transmitido confianza en todo momento y me has aportado un sinfín de conocimientos. Ha sido muy importante para mí poder contar contigo. Eres una gran persona y profesional. Siempre con buena cara y una disponibilidad infinita.

Mil gracias también a Lupe por buscar siempre una solución o remedio en las técnicas de laboratorio, e incluso por quedarse trabajando conmigo hasta tarde. No he visto persona más eficaz y resolutive que ella. Además de ser la alegría del departamento. A Diana y Manu por resolverme dudas puntuales y, a Diego, muchas gracias por su buen trato y su ayuda con el compresor tantas veces. Menos mal que siempre estaba. En el Departamento de Fisiología Animal de la ULL abunda la calidad humana y eso los convierte en un gran equipo. Me he sentido acogida y soy afortunada por haber podido trabajar con todos ellos este breve periodo de tiempo.

A mi familia. En especial, a mi madre y a mi padre. Sin ellos no estaría donde estoy. Mil gracias por apostar por mi educación y darme la oportunidad de graduarme en Bióloga. Gracias por confiar siempre en mí y por animarme en mis peores momentos. Son un apoyo incondicional y no los puedo querer más. Hago una mención especial a mi abuelito, me habría encantado que pudiera verme terminar lo que empecé. Espero que esté orgulloso de mí y todo mi trabajo va dedicado a él.

Por último, a mis mejores amigas, gracias por su apoyo, confianza y preocupación. Son personas muy especiales y espero poder seguir teniéndolas en mi vida.

A todos, gracias por ser y estar.

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3785192 Código de verificación: WFXoTeAb

Firmado por: CORAIMA DEL MAR GARCÍA DELGADO  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 08/09/2021 23:19:41

Covadonga Rodríguez González  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

08/09/2021 23:21:06