

# IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN TRES MACROALGAS DE ISLA CARIBE, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

ARELYS MAZA-WUITTER<sup>1</sup> & JORGE BARRIOS-MONTILLA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Química, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Cumaná. arelmazw2017@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-7348-7702>

<sup>2</sup> Dpto. de Biología Marina, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Cumaná. \*Autor de correspondencia: jebarster@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6697-5140>

**RESUMEN:** En el presente trabajo se estudiaron los ácidos grasos presentes en tres macroalgas Rhodophyta colectadas en marzo del 2001 en isla Caribe (estado Sucre, Venezuela): *Centroceras clavulatum*, *Hypnea valentiae* y *Gymnogongrus tenuis*. La extracción de los lípidos se realizó por el método de Overturf y Dryer; para la caracterización y cuantificación de los ácidos grasos (AG) se utilizó un cromatógrafo de gases. El estudio mostró la ocurrencia de nueve ácidos grasos saturados: 13:0, 14:0, 15:0, 16:0, 18:0, 19:0, 20:0, 22:0 y 24:0, dos ácidos grasos monoinsaturados: 16:1 $\omega$ -7 y 18:1 $\omega$ -7, y cinco ácidos grasos poliinsaturados: 18:2 $\omega$ -6, 18:4, 20:2, 20:5 $\omega$ -3 y 22:6 $\omega$ -3. El alga *C. clavulatum* presentó 13 ácidos grasos, en tanto que las otras dos algas presentaron 9 AG cada una, resultando comunes para las tres especies los AG 16:0, 18:2 $\omega$ -6, 20:2, 20:5 $\omega$ -3 y 22:6 $\omega$ -3. En las algas rojas el ácido graso más abundante es el ácido eicosapentaenoico, pero en este trabajo se destacó el ácido docosahexaenoico por sus altos porcentajes para las algas estudiadas, lo cual es una importante diferencia con rodofíceas de otras regiones que podría atribuirse a factores ambientales. Las algas marinas son los únicos organismos capaces de biosintetizar ácidos grasos esenciales, la presencia de importantes cantidades de los ácidos grasos poliinsaturados 20:5n-3 y 22:6n-3 en las especies analizadas les confieren valor como alimento humano o en dietas para animales.

**Palabras claves:** Rhodophyta, ácidos grasos, saturados, poliinsaturados.

**ABSTRACT:** In the present work, the fatty acids present in three Rhodophyta macroalgae collected in March 2001 on the Caribbean island (Sucre state, Venezuela): *Centroceras clavulatum*, *Hypnea valentiae* and *Gymnogongrus tenuis*, were studied. Lipid extraction was carried out by the Overturf and Dryer method, for the characterization and quantification of fatty acids (FA) a gas chromatograph was used. The study showed the occurrence of nine saturated fatty acids: 13:0, 14:0, 15:0, 16:0, 18:0, 19:0, 20:0, 22:0 and 24:0, two monounsaturated fatty acids: 16:1 $\omega$ -7 and 18:1 $\omega$ -7, and five polyunsaturated fatty acids: 18:2 $\omega$ -6, 18:4, 20:2, 20:5 $\omega$ -3 and 22:6 $\omega$ -3. The algae *C. clavulatum* presented 13 fatty acids, and the other two algae presented 9 FA, resulting the FA 16:0, 18:2 $\omega$ -6, 20:2, 20:5 $\omega$ -3 and 22:6 $\omega$ -3 common for the three species. In red algae, the most abundant fatty acid is eicosapentaenoic acid, but in this work docosahexaenoic acid stood out due to its high percentages for the algae studied, which is an important difference with rhodophyceans from other regions that could be attributed to environmental factors. Only marine algae can biosynthesize essential fatty acids, the presence of significant amounts of polyunsaturated fatty acids 20:5n-3 and 22:6n-3 in the species analyzed gives it value in humans and animals diets.

**Key words:** Rhodophyta, fatty acids, saturated, polyunsaturated.

## INTRODUCCIÓN

Las algas son un grupo heterogéneo de organismos autótrofos que comprenden varias líneas de evolución paralela, existen unas 50.000 especies que incluyen formas de vida unicelulares y pluricelulares de hasta 50 metros de longitud, habitan ambientes marinos, dulceacuícolas y terrestres, donde son la base de numerosas tramas tróficas; le confieren estructura y diversidad a diferentes hábitats, cumpliendo una amplia gama de funciones ecológicas (MARTIN *et al.* 1992; BELLORÍN *et al.* 2022).

El hombre aprovecha las algas macroscópicas en diferentes formas, muchas son utilizadas como alimento humano o materia prima para la obtención de geles de uso industrial, también son usadas como fertilizantes (HOFFMANN & SANTELICES 1997). Desde un punto de vista nutricional, las algas son una fuente importante de proteínas (rojas y verdes 10-47%; pardas 5-24%) y minerales (8-40%), y son muy interesantes por su bajo contenido lipídico (1-2%) y alto contenido en fibra alimentaria, que varía entre el 33 y 50% (RUPÉREZ & SAURA-CALIXTO 2001; MOHAMED *et al.* 2012).

Con el objeto de sobrevivir en un ambiente competitivo, las algas marinas han desarrollado estrategias defensivas que resultan en una gran diversidad de compuestos. Las recientes tendencias en investigación sobre drogas provenientes de productos naturales han demostrado que las algas biosintetizan compuestos con un amplio rango de actividad biológica, con beneficios potenciales en la salud pública, de alto valor en la industria de los alimentos y farmacéutica, como: ácidos grasos, esteroides, carotenoides, polisacáridos, lectinas, compuestos halogenados, policétidos, toxinas y aminoácidos parecidos a micosporinas (PESANDO & CARAM 1984; FAULKNER 1993; CARDOZO *et al.* 2007; SOHRABIPOUR *et al.* 2019).

Las algas marinas son ricas en ácidos grasos poliinsaturados o AGpi, los cuales han sido ampliamente investigados debido a su potencial uso en el tratamiento de enfermedades como el cáncer, artritis, alteraciones cardiovasculares y otras (GOODNIGHT *et al.* 1982; DYERBERG 1986; STILLWELL *et al.* 1993).

Los AGpi se pueden clasificar en familias cuya denominación depende de la posición del doble enlace con respecto al grupo metilo terminal, las tres principales familias son la del ácido oleico: omega 9 ( $\omega$ -9), la del ácido linoleico: omega 6 ( $\omega$ -6) y la del ácido linolenico: omega 3 ( $\omega$ -3). Los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3 son esenciales para los mamíferos, lo que significa que no pueden ser sintetizados por estos, sino que deben ser suministrados a través de la dieta, teniendo cada uno de ellos funciones específicas en el cuerpo, por ejemplo los AGpi de la serie  $\omega$ -6 se requieren principalmente para el crecimiento, reproducción y el mantenimiento de la integridad de la piel, mientras que los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -3 están involucrados en el desarrollo y funcionamiento de la retina y la corteza cerebral (UAUY *et al.* 1996), además su deficiencia está relacionada con la discapacidad para el aprendizaje durante el desarrollo temprano del cerebro y pueden jugar un papel muy importante en la prevención de la esclerosis múltiple (CARNIELLI *et al.* 1996).

En el área de la cosmética, muchos de estos ácidos grasos mono y poliinsaturados son de interés ya que son sustancias relevantes en la composición de lociones solares bloqueadoras de rayos UV y productos antiarrugas (HELME 1990).

Una consideración de mucho interés en la maricultura es que los AGpi de las algas con 20 y 22 átomos de carbono, bien sea de la serie  $\omega$ -3 o de la  $\omega$ -6, son importantes nutricionalmente (FAO 2020). Estos ácidos son esenciales en la calidad del alimento suministrado a los animales marinos en condiciones de cultivo y el valor nutricional de los lípidos se determina mayormente por el tipo de ácidos grasos presentes en su dieta. Los efectos de una dieta con algas ricas en AGpi es un importante tópico de investigación (RADWAN 1991).

Comparado con la gran diversidad de macrófitas marinas, sólo han sido examinados los ácidos grasos de un limitado número de especies (FLEURY *et al.* 2011).

En Venezuela son escasos los estudios sobre la composición lipídica de las macroalgas marinas, motivado a esto, en este trabajo se identificaron y cuantificaron los ácidos grasos presentes en tres especies de algas rodofíceas.

## MATERIALES Y METODOS

Las algas se colectaron en marzo del 2001 en isla Caribe (estado Sucre), isla de pequeñas dimensiones situada al noroeste de la población de Chacopata, en una zona costera ubicada a los 10°41'23,8"N y 63°51'09,7"O (Fig. 1). Se utilizó equipo de buceo básico, espátula y bolsas de plástico con cierre hermético para depositar las algas; las muestras se colectaron a mano



Fig. 1. Vista del área de muestreo en Isla Caribe (estado Sucre), en la foto se observa a lo lejos Isla Lobos.

hasta una profundidad de 2 metros en cantidades suficientes para los estudios. Las macroalgas se refrigeraron en hielo, una muestra fue preservada en formalina al 4% en el laboratorio de Ficología Marina del Instituto Oceanográfico de Venezuela para su posterior identificación y prensado como material de herbario.

Las macroalgas se identificaron utilizando claves taxonómicas hasta el nivel de especie, empleándose equipo óptico para detallar los especímenes, cuando fue necesario se realizaron cortes histológicos y montaje de laminillas para observaciones microscópicas. Los nombres de las especies identificadas se validaron con las bases de datos de GUIRY & GUIRY (2023) y la WEB FICOFLORA VENEZUELA (2023).

Para los análisis químicos se separaron las algas por especie y se lavaron con agua dulce, previamente se eliminó la fauna asociada y otras especies de algas epifitas, finalmente se colocaron sobre papel absorbente y se secaron a la sombra a temperatura ambiente (28-32°C) por un período de 48 h. Luego se procedió a realizar la extracción de los lípidos por el método de Overturf y Dryer, que consiste en usar 20 ml de una mezcla de cloroformo-metanol 2:1 v/v por cada gramo de la muestra. Inicialmente se agregó la mitad de solvente y se le adicionó una pequeña cantidad de butirato de hidroxitolueno (BTH) como antioxidante, se mantuvo con agitación constante en frío durante media hora. Luego se filtró y se guardó el filtrado, con el residuo se repitió el procedimiento anterior usando la otra mitad de solvente asegurando de esta forma una completa extracción (OVERTURF & DRYER 1969).

Se unieron los filtrados en un embudo de separación y se agregaron 0,2 volúmenes por mililitro de una solución 0,05 mol/l de NaCl. Se agitó vigorosamente y se dejó en refrigeración durante 12 horas, para lograr la completa separación de las dos fases. La fase inferior se filtró sobre papel Whatman # 1, recogiénose sobre sulfato de sodio anhidro. Luego se colocó en un rotaevaporador para eliminar la mezcla de solventes, se hizo pasar una corriente de nitrógeno gaseoso para asegurar la completa evaporación de éstos y obtener así los lípidos totales del extracto.

Los ácidos grasos presentes en los lípidos se transesterificaron utilizando el método de Brokerchoff, el cual consistió en disolver de 1 - 40 mg de grasa en 0,5 ml de éter etílico al que se añadió 1 ml de solución de hidróxido de potasio metanólico (KOH/MeOH) 0,5 mol/l. El preparado se agitó vigorosamente y se dejó en reposo durante 20 minutos a temperatura ambiente, se añadió 1 ml de ácido clorhídrico (HCl) 1 mol/l, se agitó de nuevo y se extrajeron los ésteres metílicos con tres porciones de 1 ml de éter de petróleo. Se reunieron los extractos y se evaporó el solvente con nitrógeno. Una vez transformados los ácidos grasos en sus ésteres metílicos, éstos se pueden cuantificar y caracterizar (CRISTIE 1973).

Los ésteres metílicos correspondientes a cada muestra se analizaron mediante cromatografía de gas en un cromatógrafo Agilent Thecnology 4890D equipado con una columna HP Innowax de 30 cm de largo y 0,32 mm de diámetro interno, se utilizó nitrógeno como gas de arrastre. El área de los picos se determinó con el programa HP GC Chemstation System 339PA. La identificación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos se hizo mediante comparación de sus tiempos de retención con los de los ésteres metílicos de patrones comerciales, y los resultados se expresaron en porcentajes de distribución en base a los ácidos grasos encontrados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron tres especies de macroalgas Rhodophyta para este estudio: *Centroceras clavulatum* (C. Agardh) Montagne (Rhodomelaceae), *Hypnea valentiae* (Turner) Montagne (Cystocloniaceae) y *Gymnogongrus tenuis* J. Agardh (Phyllophoraceae). Estas macroalgas están distribuidas en todas las costas de Venezuela (WEB FICOFLORES VENEZUELA 2023).

En la TABLA 1 se observa que las algas evaluadas presentaron lípidos en sus diferentes fracciones (ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados), con un total de nueve ácidos grasos saturados (AGs): 13:0 (ácido tridecílico), 14:0 (ácido mirístico), 15:0 (ácido pentadecílico), 16:0 (ácido palmítico), 18:0 (ácido esteárico), 19:0 (ácido nonadecílico), 20:0 (ácido araquídico), 22:0 (ácido behénico) y 24:0 (ácido lignocérico), dos ácidos grasos monoinsaturados (AGmi): 16:1 $\omega$ -7 (ácido palmitoleico) y 18:1 $\omega$ -7 (ácido elaidico), y cinco ácidos grasos poliinsaturados (AGpi): 18:2 $\omega$ -6 (ácido linoleico), 18:4 (ácido estearidónico), 20:2 (ácido eicosadienoico), 20:5 $\omega$ -3 (ácido eicosapentaenoico) y el 22:6 $\omega$ -3 (ácido docosahexaenoico).

A pesar de que el contenido lipídico en las algas es bajo (< 5% peso seco), lo que las hace un alimento de bajo nivel calórico (KHOTIMCHENKO *et al.* 2002), poseen una alta concentración de ácidos grasos insaturados, a diferencia de la mayor parte de las plantas fanerógamas terrestres (DARCY-VRILLON 1993).

Tabla 1.- Composición porcentual de los ácidos grasos presentes en tres rodofíceas colectadas en Isla Caribe, estado Sucre, Venezuela (nd: no determinado).

| Ácidos grasos/<br>especies | <i>C. clavulatum</i> | <i>H. valentiae</i> | <i>G. tenuis</i> |
|----------------------------|----------------------|---------------------|------------------|
| 13:0                       | nd                   | 1,05                | nd               |
| 14:0                       | 1,40                 | nd                  | 1,12             |
| 15:0                       | nd                   | 1,23                | 0,63             |
| 16:0                       | 19,42                | 1,15                | 11,74            |
| 16:1 $\omega$ -7           | 0,66                 | 0,84                | nd               |
| 18:0                       | 14,7                 | nd                  | 7,33             |
| 18:1 $\omega$ -7           | 1,33                 | nd                  | nd               |
| 18:2 $\omega$ -6           | 5,28                 | 0,98                | 4,10             |
| 18:4                       | 0,62                 | nd                  | nd               |
| 19:0                       | nd                   | 44,05               | nd               |
| 20:0                       | 0,75                 | nd                  | nd               |
| 20:2                       | 3,63                 | 2,10                | 3,33             |
| 20:5 $\omega$ -3           | 1,14                 | 8,31                | 0,78             |
| 22:0                       | 1,47                 | nd                  | nd               |
| 22:1                       | nd                   | nd                  | 0,55             |
| 22:6 $\omega$ -3           | 38,58                | 16,76               | 63,30            |
| 24:0                       | 0,92                 | nd                  | nd               |

En el alga *C. clavulatum* (TABLA 1, Figs. 2 y 3) se cuantificaron 38,86% de ácidos grasos saturados, distribuidos de la siguiente forma: en mayor proporción se encontró el ácido 16:0 con un 19,42 %, seguido del 18:0 con 14,7 %, el 22:0 con 1,47%, el 14:0 con un 1,40 %, el 24:0 con 0,92 % y el 20:0 con 0,75 %. Entre los ácidos grasos monoinsaturados cuantificados (1,99 %) se encontraron el 16:1 $\omega$ -7 y el 18:1 $\omega$ -7 con 0,66 y 1,33 %, respectivamente. En cuanto a los ácidos grasos poliinsaturados (49,25 %), se estimó un contenido de 38,58 % del ácido docosahexaenoico (22:6 $\omega$ -3), y en menor proporción se obtuvieron los ácidos 18:2  $\omega$ -6 con 5,28 %, el 20:2 con 3,63 %, el eicosapentaenoico (20:5 $\omega$ -3) con 1,14 % y el 18:4 con 0,62 %.

En muestras de *C. clavulatum* recolectadas en varias localidades de Brasil, FLEURY *et al.* (2011) encontraron importantes variaciones en el contenido de ácidos grasos del alga, predominando el 16:0 con valores que oscilaron entre el 58 y 75,1 %.

En el alga *H. valentiae* se obtuvo un 47,48 % de ácidos grasos saturados (TABLA 1, Figs. 4 y 5), los cuales están distribuidos de la siguiente manera: un 44,05 % de ácido 19:0, el ácido 13:0 (1,05%), además de los AGs 15:0 y 16:0, con 1,23 y 1,15 %, respectivamente. También se encontró el ácido graso monoinsaturado 16:1 $\omega$ -7 con 0,84%. En cuanto a los ácidos poliinsaturados, un 16,76 % correspondió al ácido docosahexanoico (22:6 $\omega$ -3), seguido de un 8,31 % del eicosapentanoico (20:5 $\omega$ -3); se logró cuantificar también el ácido 20:2 (2,10 %) y el 18:2  $\omega$ -6 (0,98 %), para un total de 28,15% de AGpi.

Estudios sobre ácidos grasos de tres especies de *Hypnea* de Pakistán (HAYEE-MEMON *et al.* 1992) mostraron que *H. valentiae* presentó 86,06 % de ácidos grasos saturados (9 AGs), presentando

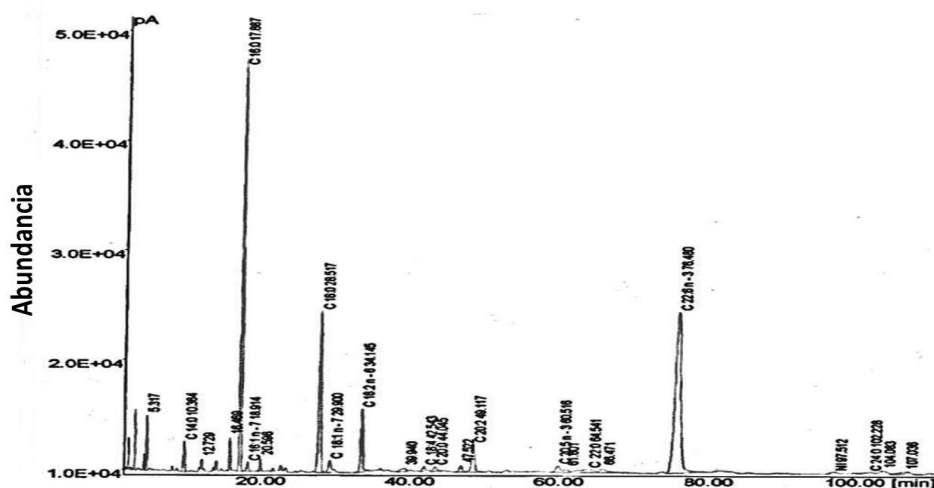


Fig. 2. Cromatograma CG de los ésteres metílicos de los ácidos grasos de *C. clavulatum* proveniente de Isla Caribe.

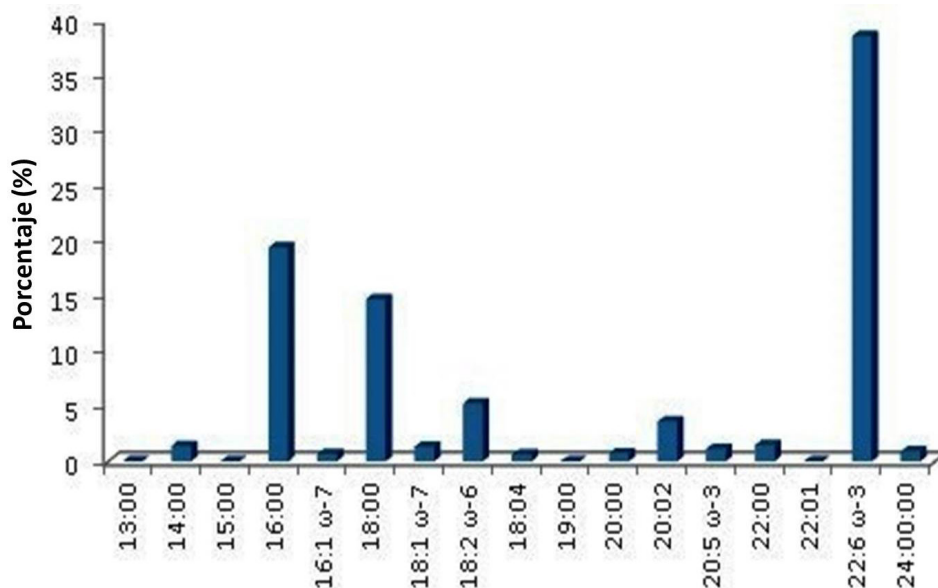


Fig. 3. Composición porcentual de los ácidos grasos presentes en *C. clavulatum* colectada en Isla Caribe.

un perfil muy diferente al de las otras especies de *Hypnea* evaluadas, con altos valores de ácidos eicosapentanoico y docosahexanoico.

En la TABLA 1 (Figs. 6 y 7) se puede observar que en el alga *G. tenuis* se cuantificaron 20,82 % de ácidos grasos saturados, encontrándose en mayor proporción los ácidos 16:0 con 11,74 % y el 18:0 con 7,33 %, y en menor proporción el 14:0 y el 15:0, con 1,12 y 0,63 %, respectivamente. El único ácido monoinsaturado fue el 22:1 con 0,55 %. Entre los poliinsaturados la distribución porcentual del total cuantificado (68,51 %) fue la siguiente: en mayor proporción se tiene un 63,30% del ácido docosahexaenoico (22:6 $\omega$ -3), seguido del ácido 18:2 $\omega$ -6 con un 4,10 %, del ácido 20:2 se cuantifico un 3,33 % y del ácido eicosapentaenoico (20:5 $\omega$ -3) un 0,78 %.

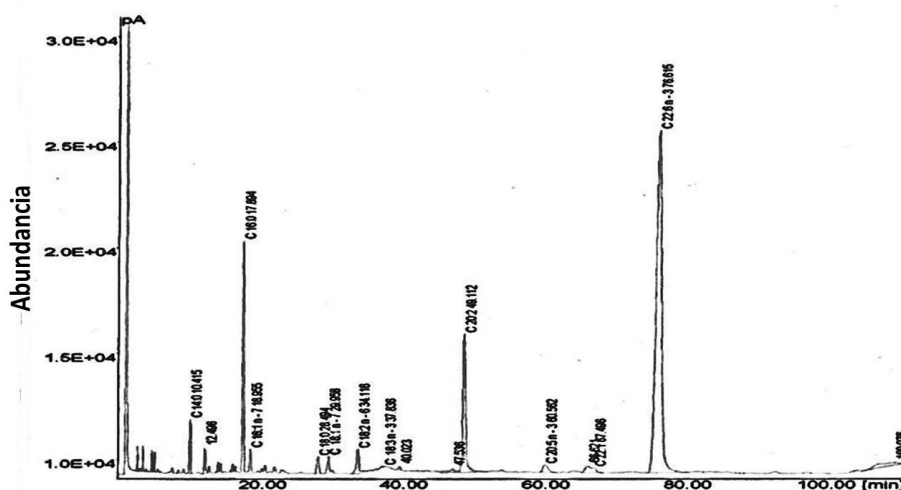


Fig. 4. Cromatograma CG de los ésteres metílicos de los ácidos grasos de *H. valentiae* proveniente de Isla Caribe.

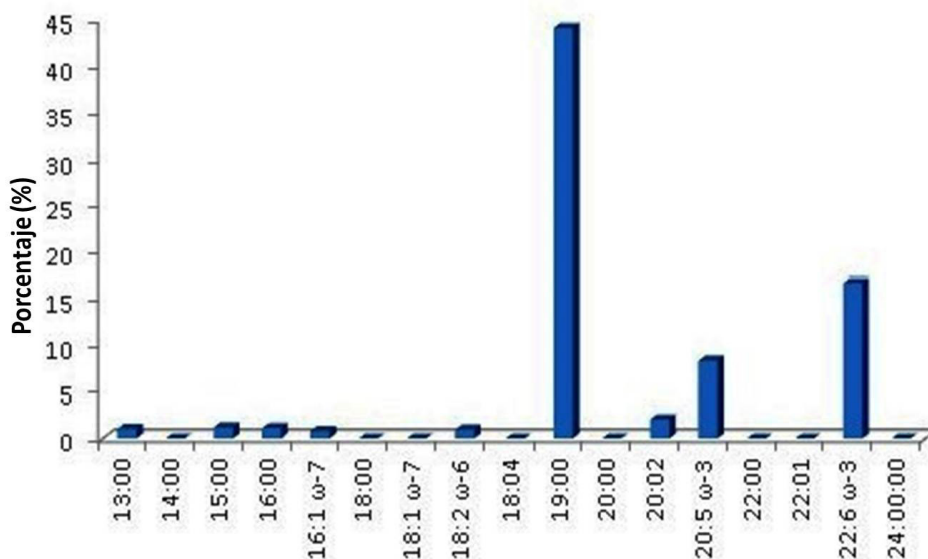


Fig. 5. Composición porcentual de los ácidos grasos presentes en *H. valentiae* colectada en Isla Caribe.

En muestras de *Gymnogongrus griffithsiae* (Turner) Martin, recolectadas en Brasil (FLEURY *et al.* 2011), predominó el ácido graso 16:0 con valores que variaron entre 43,2 y 69,3 %, observándose que existen variaciones en el contenido de algunos ácidos grasos que pasaban de ser detectados en pequeñas cantidades a no ser detectados, a pesar de tratarse de la misma especie.

Al contrastar el contenido de ácidos grasos de las tres macroalgas estudiadas, se tiene que *C. clavulatum* presentó 13 ácidos grasos, en tanto que las otras dos especies presentaron 9 cada una, resultando comunes para las tres especies los AG 16:0, 18:2 $\omega$ -6, 20:2, 20:5 $\omega$ -3 y 22:6 $\omega$ -3. La composición de los ácidos grasos está influenciada por factores ambientales tales como la intensidad de la luz, la salinidad y la temperatura (GRAEVE *et al.* 2002), pero a pesar de la

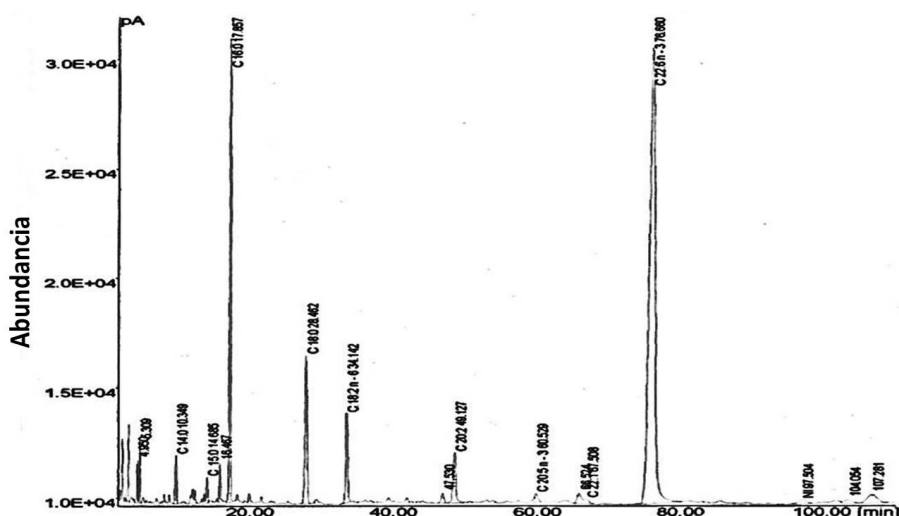


Fig. 6. Cromatograma CG de los ésteres metílicos de los ácidos grasos de *G. tenuis* proveniente de Isla Caribe.

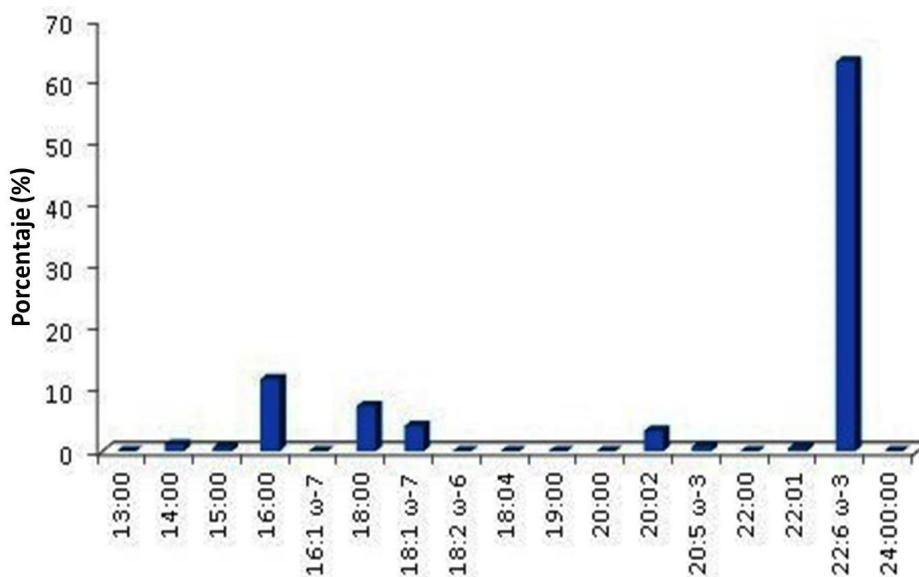


Fig. 7. Composición porcentual de los ácidos grasos presentes en *G. tenuis* colectada en Isla Caribe.

variabilidad del contenido de ácidos grasos en las macroalgas que crecen en diferentes hábitats, los rasgos característicos en la composición para las diferentes especies permanecen constantes (AKNIN *et al.* 1992).

Las Chlorophyta, Ochrophyta y Rhodophyta presentan diferentes perfiles lipídicos entre sí, aunque estos son similares entre las especies que integran cada Phylum, como lo observaron KHOTIMCHENKO *et al.* (2002), al comparar la composición de los ácidos grasos de algas provenientes de varias regiones del norte de California (Estados Unidos de Norteamérica), señalando estos autores que en el caso de las algas rojas el más común y abundante es el ácido eicosapentaenoico.

En este trabajo se destacó el ácido docosahexaenoico por sus altos porcentajes para las tres especies de rodofíceas estudiadas, lo cual es una diferencia que podría atribuirse a la mayor temperatura del agua de los mares tropicales. KHOTIMCHENKO *et al.* (*op cit.*) sugieren que las diferencias en la composición de los ácidos grasos en macroalgas están relacionadas con las variaciones geográficas o los factores ambientales de donde provienen las muestras. También los ciclos vitales del alga (gametofítica o esporofítica) pueden causar variaciones en el contenido de los ácidos grasos de una misma especie (FLEURY *et al.* 2011).

Es interesante destacar que las algas con el más alto contenido de ácido docosahexaenoico son los dinoflagelados (POHL 1982), un importante componente del fitoplancton, por lo que se puede considerar atípico que las Rhodophyta evaluadas en este trabajo presenten tan altos valores de este ácido graso, y sobre todo si las contrastamos con lo obtenido en otros trabajos como se mencionó anteriormente, sin embargo hay una posible explicación a estos valores ya que se ha demostrado que las macroalgas cultivadas experimentalmente con altos niveles de nitrógeno (amonio, nitrito) incrementan la formación de ácidos grasos poliinsaturados (POHL *op cit.*), y las algas de este estudio fueron colectadas en una isla fuertemente influenciada por el fenómeno de surgencia que se da en el oriente de Venezuela (GÓMEZ 1996), el cual enriquece las aguas costeras con nutrientes provenientes de zonas profundas.

En relación con el ácido docosahexaenoico DHA (22:6 $\omega$ -3), este se encuentra como constituyente del tejido cerebral y aparece principalmente en los fosfolípidos de las células neurales; esta distribución sugiere la importancia de este ácido en las membranas metabólicamente activas y excitables de la retina y del sistema nervioso central (NEURINGER *et al.* 1988). Entre los ácidos grasos poliinsaturados de doble o triple cadena, se ha prestado especial atención a los alimentos que son fuente de ácidos grasos omega-3 como el ácido eicosapentaenoico, ácido docosahexaenoico y ácido alfa linoleico, ya que previenen enfermedades del sistema circulatorio y del corazón (TIERNEY 2010). La presencia de antioxidantes y ácidos grasos omega 3 le confieren la categoría de alimentos funcionales a las macroalgas (SHAHIDI 2009).

El contenido de AG es importante en el desarrollo de dietas de engorde para cultivos de peces y crustáceos marinos, y en la alimentación animal en general. Los peces son una fuente tradicional de ácidos grasos poliinsaturados, pero ellos no pueden metabolizar estos compuestos, adquiriéndolos en su dieta de micro y macroalgas (CARDOZO *et al.* 2007), o por medio de la cadena alimenticia (TACON *et al.* 2020). Las algas marinas son los únicos organismos capaces de

biosintetizar ácidos grasos esenciales, como los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3 (FAO 2020).

Las macroalgas constituyen una alternativa interesante como complemento alimenticio en dietas para organismos marinos o para humanos. SARGENT *et al.* (1997), señalan que los aceites vegetales de plantas terrestres utilizados como fuente de lípidos en dietas para peces son ricos en ácidos grasos poliinsaturados de 18 átomos de carbonos (ácido linoleico y ácido  $\alpha$ -linolénico) pero carecen de los omega-3, principalmente ácido eicosapentanoico (20:5n-3) y ácido docosahexanoico (22:6n-3) de origen marino, lo que disminuye el crecimiento y engorde de los alevines, y precisamente son estos ácidos grasos los más abundantes en las macroalgas analizadas en este trabajo.

Para poder recomendar una especie de macroalga como alimento hay que considerar la presencia de nutrientes que puedan incrementar su valor alimenticio, además de otras sustancias que tengan principios antinutricionales e incluso tóxicos (TERUEL & GLENCROSS 2014). En un estudio de inhibición bacteriana de extractos liposolubles de macroalgas del Mar Caribe, BALLANTINE *et al.* (1987) encontraron que el extracto de *C. clavulatum* no afectó el crecimiento de diferentes tipos de bacterias, por el contrario, *H. valentiae* si mostró una moderada actividad antibacterial.

Con este trabajo se fortalecen los conocimientos sobre los ácidos grasos presentes en las algas rojas y el potencial que tienen las macroalgas de Venezuela como fuente de nutrientes en dietas para animales y para consumo humano.

## CONCLUSIONES

1.- En el alga *C. clavulatum* se cuantificaron 38,86 % de ácidos grasos saturados y 49,25 % de ácidos grasos poliinsaturados (identificándose el ácido docosahexaenoico con un porcentaje de 38,58 %, el 18:2 $\omega$ -6 con 5,28 % y el 20:5 $\omega$ -3 con 1,15 %).

2.- Se determinó en el alga *H. valentiae* que un 47,48% de los ácidos grasos son saturados, entre los ácidos grasos poliinsaturados (28,15 %) se encontraron el 22:6 $\omega$ -3 (16,76 %), el 18:2 $\omega$ -6 (0,98 %) y el 20:5 $\omega$ -3 (8,31 %).

3.- En cuanto al alga *G. tenuis*, se calculó un contenido de 20,82 % de ácidos grasos saturados (14:0, 15:0, 16:0 y 18:0). Se cuantificó un 68,51 % de ácidos grasos poliinsaturados, entre los cuales se hallaban el ácido docosahexaenoico que presentó un porcentaje de 63,30 %, el 18:2 $\omega$ -6 (4,10%), el 20:2 (3,33%) y en menor proporción, el 20:5 $\omega$ -3 (0,78 %).

4.- El alga *G. tenuis* presentó el mayor contenido del ácido docosahexaenoico (63,30 %), seguida por *C. clavulatum* con 38,58 %, mientras que en *H. valentiae* se cuantificó un 16,76 %.

5.- Las algas estudiadas poseen ácidos grasos poliinsaturados esenciales de la serie  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3, los cuales son recomendados por sus beneficios en la salud para el consumo humano y en dietas balanceadas para animales.

## REFERENCIAS

- AKNIN, M., R. MOELLET-NZAOU, E. CISSE, J. KORNPBST, E. GAYDOU, A. SAMB & J. MIRALLES. 1992. Fatty acid composition of 12 species of Chlorophyceae from the Senegalese coast. *Phytochem.* 31:2739-2741.
- BALLANTINE, D., W. GERWICK, S. VELEZ, E. ALEXANDER & P. GUEVARA. 1987. Antibiotic activity of lipid-soluble extracts from Caribbean marine algae. *Hydrobiologia* 151/152:463-469. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-4057-4\\_68](https://doi.org/10.1007/978-94-009-4057-4_68)
- BELLORÍN, A., C. BULBOA & C. LORETTO. 2022. *Algas. Una introducción a la ficología*. Santiago RIL Editores, Universidad Andrés Bello, Chile. 696 pp.
- CARDOZO, K., T. GUARATINI, M. BARROS, V. FALCÃO, A. TONON, N. LOPES, S. CAMPOS, M. TORRES, A. SOUZA, P. COLEPICOLO & E. PINTO. 2007. Metabolites from algae with economical impact. *Comp. Biochem. Physiol. C-Toxicol. Phar.* 146(1-2):60-78. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.05.007>
- CARNIELLI, V., D. WATTIMENA, I. LUIJENDIJK, A. BOERLAGE, H. DEGENHART & P. SAUER. 1996. The very low birth weight premature infant is capable of synthesizing arachidonic and docosahexaenoic acids from linoleic and linolenic acids. *Pediatr. Res.* 40(1):169-174. <https://doi.org/10.1203/00006450-199607000-00029>
- CRISTIE, W. 1973. *Lipids analysis*. Pergamon Press, New York, USA. 78 pp.
- DARCY-VRILLON, B. 1993. Nutritional aspects of the developing use of marine macroalgae for the human food industry. *Int. J. Food Sci. Nutrition.* 44:23-35.
- DYERBERG, J. 1986. Linoleate-derived polyunsaturated fatty acids and prevention of atherosclerosis. *Nutr. Rev.* 44:125-134. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1986.tb07603.x>
- FAO. 2020. *The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. 224 pp. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAULKNER, D. 1993. Marine natural product chemistry: introduction. *Chem. Rev.* 93:1671-1673.
- FLEURY, B., L. FIGUEIREDO, M. MARCONI, V. TEIXEIRA, A. BUARQUE & A. PINTO. 2011. Fatty acids as chemotaxonomic markers of marine macrophytes from Rio de Janeiro state, Brazil. *Nat. Product. Comm.* 6(5):667-672. <https://doi.org/10.1177/1934578X1100600519>
- GÓMEZ, A. 1996. Causas de la fertilidad marina en el nororiente de Venezuela. *Interciencia* 21:140-146.
- GOODNIGHT, S., W. HARRIS, W. CONNOR & D. ILLINGWORTH. 1982. Polyunsaturated fatty acids, hyperlipidemia and thrombosis. *Arteriosclerosis* 2: 87-113. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.2.2.87>

- GRAEVE, M., G. KATTNER, C. WIENCKE & U. KARSTEN. 2002. Fatty acid composition of Arctic and Antarctic macroalgae: indicator of phylogenetic and trophic relationships. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 231:67-74. <https://doi.org/10.3354/meps231067>
- GUIRY, M. & G. GUIRY. 2023. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponible en <https://www.algaebase.org> (Consultado mayo 2023).
- HAYEE-MEMON, A., M. SHAMEEL, K. USMANGHANI & V. AHMAD. 1992. Fatty acid composition of three species of *Hypnea* (Gigartinales, Rhodophyta) from Karachi coast. *Pakistan J. Mar. Sci.* 1(1):7-10.
- HELME, J. 1990. Lipids and cosmetology. *Rev. Francaise Des Corp Grass* 37:379-388.
- HOFFMANN, A. & B. SANTELICES. 1997. *Flora marina de Chile Central*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 434 pp.
- KHOTIMCHENKO, S., V. VASKOVSKY & T. TITLYANOVA. 2002. Fatty acids of marine algae from the Pacific coast of North California. *Bot. Mar.* 45:17-22. <https://doi.org/10.1515/BOT.2002.003>
- MARTIN, W., C. SOMMERVILLE & S. LOISEAUX-DE GOËR. 1992. Molecular phylogenies of plastid origins and algal evolution. *J. Mol. Evol.* 35:385-403. <https://doi.org/10.1007/BF00171817>
- MOHAMED, S., S. HASHIM & H. RAHMAN. 2012. Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. *Trends Food Sci. Tech.* 23(2):83-96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.09.001>
- NEURINGER, M., G. ANDERSON & W. CONNOR. 1988. The essentiality of n-3 fatty acids for the development and function of the retina and brain. *Ann. Rev. Nutr.* 8:517-541.
- OVERTURF, M. & R. DRYER. 1969. *Experiments in the biochemistry of animal lipids*. En: *Experimental physiology and biochemistry*. (Ed.). Kerkut, G. Academy Press, New York. 81-163pp.
- PESANDO, D. & B. CARAM. 1984. Screening of marine algae from the French Mediterranean coast of antibacterial and antifungal activity. *Bot Mar.* 27:381-386. <https://doi.org/10.1515/botm.1984.27.8.381>
- POHL, P. 1982. *Lipids and fatty acids of microalgae*. En: *Handbook of Biosolar Resources*. (Eds.). Zaborsky, O, A. Mitsiu & C. Black. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 1: 383-404.
- RADWAN, S. 1991. Sources of C<sub>20</sub>-polyunsaturated fatty acids for biotechnological use. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 35(4):421-430. <https://doi.org/10.1007/BF00169743>
- RUPÉREZ, P. & F. SAURA-CALIXTO. 2001. Dietary fiber and physicochemical properties of edible Spanish seaweeds. *Eur. Food Res. Tech.* 212(3):349-354. <https://doi.org/10.1007/s002170000264>
- SARGENT, J., L. MCEVOY & J. BELL. 1997. Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture* 155:117-127. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00122-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00122-1)

- SHAHIDI, F. 2009. Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed food. *Trends Food Sci. Technol.* 20:376-387. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.004>
- SOHRABIPOUR, J., R. RABIEI & K. PIRIAN. 2019. Fatty acids composition of marine macroalgae (Review). *J. Phycol. Res.* 3(2):348-374. <https://doi.org/10.29252/JPR.3.2.348>
- STILLWELL, W., W. EHRINGER & L. JENSKI. 1993. Docosahexaenoic acid increases permeability of lipid vesicles and tumor cell. *Lipids* 28(2):103-108. <https://doi.org/10.1007/BF02535772>
- TACON, A. 2020. Trends in global aquaculture and aqua feed production: 2000–2017. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 28:43-56. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1649634>
- TERUEL, M. & B. GLENCROSS. 2014. *Processing of alternative feed ingredients in aquaculture feed*. En: *Development and use of alternative dietary ingredients of fish meal substitutes in aquaculture feed formulation*. (Eds.). Catacutan, M., R. Coloso & B. Acosta. Proceedings of the ASEAN Regional Technical Consultation. Nay Pyi Taw, Myanmar, 9-11 December. 97-104pp.
- TIERNEY, M., A. CROFT & M. HAYES. 2010. A review of antihypertensive and antioxidant activities in macroalgae. *Bot. Mar.* 53:387-408. <https://doi.org/10.1515/bot.2010.044>
- WEB FICOFLORA VENEZUELA. 2023. Catálogo digital de la Ficoflora de Venezuela. Publicación electrónica. Universidad Central de Venezuela, Caracas. Gómez, S., Y. Carballo-Barrera, M. García & N. Gil-Luna (Eds.). Disponible en <https://www.ficofloravenezuela.info.ve/public/index.php> (Consultado mayo 2023).
- UAUY, R., P. PEIRANO, D. HOFFMAN, P. MENA, D. BIRCH & E. BIRCH. 1996. Role of essential fatty acids in the function of the developing nervous system. *Lipids* 31(1):167-176. <https://doi.org/10.1007/BF02637071>

RECIBIDO: MAYO 2023

ACEPTADO: JULIO 2023