

## TRABAJOS ORIGINALES

Presentado: 16/10/2018  
Aceptado: 14/04/2019  
Publicado online: 30/09/2019

### Correspondencia:

\*Autor para correspondencia  
HHA: [hhernandez@imarpe.gob.pe](mailto:hhernandez@imarpe.gob.pe)  
LFR: [lflores@imarpe.gob.pe](mailto:lflores@imarpe.gob.pe)  
ARS: [aruiz@imarpe.gob.pe](mailto:aruiz@imarpe.gob.pe)

### Otros datos de los autores / biografía:

1 HHA: Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos  
2 LFR: Laboratorio de Análisis Instrumental  
2 ARS: Laboratorio de Análisis Instrumental

ORCID HHA: 0000-0002-2706-0834  
ORCID LFR: 0000-0002-6099-4321  
ORCID ARS: 0000-0003-3865-3632

### Citación:

Hernández Acevedo H., L. Flores Ramos, A. Ruiz Soto. 2019. Ácidos grasos en cepas de microalgas del Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Revista peruana de biología 26(3): 369 - 378 (Septiembre 2019). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i3.XXXX>

**Palabras clave:** diatomeas; clorófitas; dinoflagelados; ácido eicosapentaenoico (EPA); ácido docosahexaenoico (DHA); acuicultura; ácidos grasos; Bioprospección de microalgas.

**Keywords:** diatoms; chlorophytes; dinoflagellates; eicosapentaenoic acid (EPA); docosahexaenoic acid (DHA); aquaculture; Fatty acid; Microalgae bioprospecting.

## Fatty acids in microalgae strains from Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos of IMARPE, Peru

Hanna Hernández Acevedo<sup>1\*</sup>, Leenin Flores Ramos<sup>2</sup>, Anthony Ruiz Soto<sup>2</sup>

Instituto del Mar del Perú, Área Funcional de Investigaciones en Acuicultura. Perú.

### Resumen

Se determinó la composición de ácidos grasos de 54 cepas microalgales colectadas del Perú y mantenidas en el Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos (IMARPE) con la finalidad de determinar su uso nutricional en la acuicultura. Para ello se realizaron cultivos en un volumen de 50 mL y se determinaron los porcentajes relativos de ácidos grasos mediante transesterificación directa y cromatografía de gases. En el grupo Chlorophyta las microalgas que presentaron los mayores valores de porcentaje relativo de ácidos grasos fueron *Chlamydomonas reinhardtii* (16:0; 41.2%), *Scenedesmus obtusus* (18:1n-7; 33.6%), *Acutodesmus dimorphus* (18:1n-9; 37.1%), *Desmodesmus armatus* (18:3n-3; 32.2%) y *Tetraselmis contracta* (16:4n-3; 16.5%). En cambio en el grupo Bacillariophyta, los ácidos grasos más abundantes fueron 16:1n-7 en *Chaetoceros didymus* (20.2%), 18:4n-3 en *Navicula* sp. (28.3%) y EPA en *Asterionellopsis* sp. (31.5%). Por otro lado, en el grupo Dinophyta, todas las cepas superaron el 20% de DHA, en particular, la cepa de *Akashiwo sanguinea* presentó el mayor porcentaje relativo de este ácido graso (29.9%) y de los ácidos grasos 16:0 (24.8%) y EPA (16%). Se discute el uso de estas cepas según su contenido de ácidos grasos.

### Abstract

In This work, we determinate the fatty acids composition and their nutritional value in 54 microalgal strains, collected from Peru and stored in Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos (IMARPE). The cultures were grown to 50 mL and analyzed by direct transesterification and gas chromatography. In the Chlorophyta group, the microalgae that present the highest relative percentage of fatty acids were *Chlamydomonas reinhardtii* (16:0; 41.2%), *Scenedesmus obtusus* (18:1n-7; 33.6%), *Acutodesmus dimorphus* (18:1n-9; 37.1%), *Desmodesmus armatus* (18:3n-3; 32.2%) and *Tetraselmis contracta* (16:4n-3; 16.5%). Moreover in the Bacillariophyta group, the most abundant fatty acids were 16:1n-7 in *Chaetoceros didymus* (20.2%), 18:4n-3 in *Navicula* sp. (28.3%) and EPA in *Asterionellopsis* sp. (31.5%). By the other hand, in the Dinophyta group, all strains exceed the 20% of DHA, in particular *Akashiwo sanguinea*, it was strain to have the highest percentage of this fatty acid (29.9%) in addition to 16:0 (24.8%) and EPA (16%). We discussed uses of these strains is according to their fatty acids content.

## Introducción

Las microalgas son organismos fotosintéticos clasificados en una gran variedad de grupos taxonómicos por sus características morfológicas, fisiológicas y la formación de biocompuestos como proteínas, pigmentos, carbohidratos, vitaminas y ácidos grasos (Patil et al. 2005).

Los estudios en la acuicultura están orientados a la supervivencia larvaria y a la búsqueda y desarrollo de nuevas especies tanto para cultivo como fuente alimenticia sin dejar de ser una actividad sostenible en el tiempo (Bengtson 2003). Durante años, se han propuesto diferentes especies de microalgas con potencial valor nutritivo para acuicultura, sin embargo esta relación varía dependiendo del origen de la cepa y sobre todo las condiciones de cultivo (Enright et al. 1986). Los géneros de microalgas más utilizados en acuicultura son: *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Nannochloropsis*, *Pavlova* y *Skeletonema* siendo utilizadas en la alimentación de larvas de peneidos, crustáceos filtradores y peces (Thompson et al. 1993). El valor nutricional de una dieta en base de microalgas se encuentra relacionado con la habilidad de satisfacer los nutrientes esenciales, el tamaño apropiado para la ingesta y su digestibilidad (Brown et al. 2002). Uno de los requerimientos es la calidad de los lípidos suministrados como alimento, especialmente los ácidos grasos esenciales poliinsaturados de cadena larga (Pillay 1997), por ejemplo la familia de los omega 3 (20:5n-3, ácido eicosapentaenoico (EPA) y 22:6n-3n, ácido docosahexaenoico (DHA)). Estos son considerados esenciales para el desarrollo adecuado de los organismos cultivables (Patil et al. 2005), dado que intervienen en la formación larvaria y aumenta la capacidad de supervivencia de estas (Whyte 1987).

Muchos organismos del zooplancton e invertebrados marinos dependen de la ingesta de microalgas como único alimento durante todo el su ciclo de vida (Muller-Feuga 2000). A su vez, el zooplancton es utilizado como vector para la alimentación de larvas de peces por su tamaño y movimiento, lo que incentiva la búsqueda y caza en estadios tempranos (Mihalitsis & Bellwood 2017). En el caso del cultivo de crustáceos pequeños como la *Artemia*, el suministro de DHA es esencial durante la metamorfosis de los nauplios y poseen la capacidad de reconversión de DHA en EPA (Han et al. 2000). Por otro lado, el cladócepo *Daphnia pulex*, comúnmente llamada "pulga de agua", posee la capacidad de producir ácidos grasos de cadena larga (EPA y 20:4n-6, ácido araquidónico (AA)) a partir de la ingesta de ácidos grasos de cadena corta (18:3n-3 y 18:2n-6) en condiciones de bajas temperaturas para mantener la fluidez y función de sus membranas celulares ante el estrés físico (Schlechtriem et al. 2006). En invertebrados marinos, existen estudios relacionados a la nutrición mediante la ingesta de diatomeas debido a que son fuente principal de EPA (Dunstan et al. 1994), principalmente en cultivos de ostras donde la ingesta neta de estas microalgas aumenta la supervivencia larvaria y la fijación de estas a un sustrato (Coutteau & Sorgeloos 1992, Su et al. 1996).

Los peces marinos requieren en su dieta una proporción definida de PUFAs (ácidos grasos poliinsaturados),

haciendo énfasis en DHA, EPA y AA. Mientras que los peces de agua dulce son capaces de producir EPA y DHA sintetizado de 18:3n-3; ALA (Sargent et al. 1995). Estos ácidos grasos se les consideran esenciales e importantes para diversas funciones fisiológicas de los organismos como el mantenimiento integral de las membranas celulares y precursores de hormonas eicosanoides (Sargent et al. 1999). En particular una alta proporción de DHA es determinante para la buena formación de órganos visuales en larvas de peces (Navarro et al. 1995). Sin embargo, una dieta excesiva en omega 3 reduce la capacidad reproductiva de los peces afectando el sistema endocrino (Izquierdo et al. 2001) y causa deformidades óseas (Cahu et al. 2003).

Existen biotecnologías para producir EPA y DHA de microalgas generadoras de PUFAs (Khozin-Goldberg et al. 2011). Los ácidos grasos esenciales no sólo son parte importante en la nutrición de organismos cultivables, sino que ácidos grasos de cadena larga, como el EPA, también interfieren con el crecimiento de ciertas bacterias patógenas como las del género *Vibrio*, perjudiciales en la formación y desarrollo de larvas y generadoras de enfermedades (Benkendorff et al. 2005, Smith 2010).

En el presente trabajo se informa de la composición de ácidos grasos de 54 cepas microalgales colectadas del Perú, cultivadas en el Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos (Instituto del Mar del Perú) y se discute el uso potencial de estos, como alimento nutritivo para primeros estadios de vida de organismos cultivables.

## Materiales y métodos

**Cultivo de microalgas.-** Se seleccionaron 54 cepas de microalgas marinas y dulceacuícolas de la colección del Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos, Instituto del Mar del Perú, para realizar cultivos de 50 mL a partir de un inóculo de 10 mL con una densidad celular aproximada de 1000 células/mL. Los cultivos fueron mantenidos en cámaras climáticas bajo las siguientes condiciones: las cepas marinas utilizaron el medio F/2 Guillard con silicatos y las microalgas dulceacuícolas usaron el medio CHU modificado, temperatura de  $17 \pm 1$  °C, pH  $7 \pm 1$ , intensidad lumínica de  $35 \pm 5 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$  y fotoperiodo 12:12 (horas luz: oscuridad) por un periodo de 10 días. El último día se realizó el conteo de la densidad celular de los cultivos con una cámara Neubauer y un microscopio óptico. La Tabla 1 muestra la lista de cepas con sus respectivas especies y densidades celulares.

**Extracción y Análisis de ácidos grasos.-** Los cultivos fueron centrifugados a 4500 rpm por 15 minutos a 10 °C para obtener el pellet y se determinó el contenido de los ácidos grasos con el método de transesterificación directa (Griffiths et al. 2010), el método consiste en la saponificación de los lípidos con metóxido de sodio, seguido de la metilación de sus respectivos ácidos grasos con una solución de trifluoruro de boro en metanol para producir los metilésteres y ser analizados por cromatografía gaseosa en el equipo *Varian CP-3800*, usando una columna *Restek, Stabilwax® WCOT fused silica 30mx0.25mmx0.25µm*, método de inyección *splitless* (0.50 minuto), volumen de inyección de 1 µL, temperatu-

**Tabla 1.** Cepas de microalgas del Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos del IMARPE y densidades celulares analizadas.

Phylum	Código de cepa	Especie	Densidad celular (x 10 <sup>5</sup> células/ mL)
Chlorophyta	IMP- BG- 003	<i>Tetraselmis contracta</i>	6.58
	IMP- BG- 018	<i>Tetraselmis suecica</i>	4.48
	IMP- BG- 055	<i>Tetraselmis suecica</i>	11.01
	IMP- BG- 277	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	2.94
	IMP- BG- 219	<i>Pediastrum boryanum</i>	8.50
	IMP- BG- 255	<i>Pediastrum boryanum</i>	10.31
	IMP- BG- 288	<i>Pediastrum cf. orientale</i>	5.40
	IMP- BG- 171	<i>Comasiella arcuata</i>	19.75
	IMP- BG- 176	<i>Desmodesmus sp.</i>	11.69
	IMP- BG- 194	<i>Desmodesmus communis</i>	14.53
	IMP- BG- 195	<i>Acutodesmus dimorphus</i>	2.46
	IMP- BG- 205	<i>Acutodesmus dimorphus</i>	52.25
	IMP- BG- 215	<i>Scenedesmus obtusus</i>	17.00
	IMP- BG- 249	<i>Scenedesmus breviaculeatus</i>	6.54
	IMP- BG- 253	<i>Desmodesmus sp.</i>	15.88
	IMP- BG- 254	<i>Desmodesmus subspicatus</i>	8.45
	IMP- BG- 259	<i>Desmodesmus armatus</i>	4.46
	IMP- BG- 262	<i>Desmodesmus armatus</i>	13.99
	IMP- BG- 265	<i>Desmodesmus armatus</i>	15.03
	IMP- BG- 275	<i>Desmodesmus armatus</i>	17.20
	IMP- BG- 285	<i>Desmodesmus armatus</i>	12.95
	IMP- BG- 287	<i>Desmodesmus armatus</i>	12.49
	IMP- BG- 306	<i>Desmodesmus brasiliensis</i>	11.68
	IMP- BG- 377	<i>Desmodesmus dispar</i>	13.20
	IMP- BG- 382	<i>Desmodesmus communis</i>	17.45
	IMP- BG- 389	<i>Desmodesmus armatus</i>	16.09
	IMP- BG- 393	<i>Desmodesmus armatus</i>	9.98
	IMP- BG- 394	<i>Desmodesmus armatus</i>	13.43
	IMP- BG- 402	<i>Desmodesmus brasiliensis</i>	15.58
	IMP- BG- 406	<i>Desmodesmus armatus</i>	6.79
IMP- BG- 408	<i>Desmodesmus armatus</i>	52.25	
IMP- BG- 423	<i>Desmodesmus subspicatus</i>	87.50	
Bacillariophyta	IMP- BG- 057	<i>Chaetoceros socialis</i>	0.68
	IMP- BG- 056	<i>Chaetoceros debilis</i>	5.60
	IMP- BG- 058	<i>Chaetoceros compressus</i>	4.15
	IMP- BG- 059	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	1.04
	IMP- BG- 369	<i>Chaetoceros constrictus</i>	0.44
	IMP- BG- 435	<i>Chaetoceros didymus</i>	1.48
	IMP- BG- 433	<i>Chaetoceros sp.</i>	1.30
	IMP- BG- 097	<i>Asterionellopsis sp.</i>	2.04
	IMP- BG- 364	<i>Skeletonema var. maiori</i>	2.04
	IMP- BG- 434	<i>Skeletonema costatum</i>	9.69
	IMP- BG- 365	<i>Navicula sp.</i>	0.54
	IMP- BG- 432	<i>Gyrosigma sp.</i>	0.15
	IMP- BG- 428	<i>Thalassiosira sp.</i>	0.21
	IMP- BG- 436	<i>Thalassiosira sp.</i>	0.14
	IMP- BG- 431	<i>Entomoneis alata</i>	0.28
	IMP- BG- 054	<i>Stephanopyxis turris</i>	0.59
	Dinophyta (Miozoa)	IMP- BG- 036	<i>Prorocentrum micans</i>
IMP- BG- 062		<i>Prorocentrum micans</i>	0.002
IMP- BG- 116		<i>Prorocentrum micans</i>	0.009
IMP- BG- 115		<i>Prorocentrum gracile</i>	0.14
IMP- BG- 112		<i>Scippsella trochoidea</i>	0.17
IMP- BG- 127		<i>Akashiwo sanguinea</i>	0.001

ra del inyector fue de 250 °C, el gas de arrastre fue helio a 1 mL/min, la rampa de temperatura fue de 120 °C por un minuto, 30 °C/min hasta 160 °C, 160 °C por un minuto, 4 °C/min hasta 240 °C, 240 °C por 7 minutos. El tiempo total del programa de temperatura fue de 30.33 min y la temperatura programada del detector de 260 °C.

**Análisis Estadístico.**- Los datos fueron analizados en el programa estadístico R y ordenados mediante funciones de clusters (PCA y Heat Map). Los ácidos grasos fueron agrupados en ácidos grasos saturados (SAFAs),

ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs).

## Resultados

**Composición de ácidos grasos de 54 cepas de microalgas.**- La Tabla 2 representa la composición de ácidos grasos identificados del primer grupo de 16 microalgas Chlorophyta. Los ácidos grasos que presentaron mayor valor de porcentaje relativo en este grupo fueron 16:0 (41.2%), 18:1n-7 (33.6%), 18:1n-9 (37.1%), 18:3n-3 (32.2%) y 16:4n-3 (16.5%) en *Chlamydomonas rein-*

*hardtii*, *Scenedesmus obtusus*, *Acutodesmus dimorphus*, *Desmodesmus armatus* y *Tetraselmis contracta* respectivamente. En este grupo la cepa *C. reinhardtii* se diferencia del resto porque no se detectó el ácido graso 18:4n-3 y registró un 15% más del ácido graso 16:0. Las cepas del género *Tetraselmis* (clorófitas marinas) presentaron mayores valores de EPA dentro del grupo. Los SAFAs obtuvieron valores entre 10 y 50% y el mayor aporte fue del ácido graso 16:0. Los dos valores más altos de ω3 los presentaron *T. suecica* (50.5%) y *D. armatus* (48.7%) y el valor más bajo lo presentó *C. reinhardtii* (7.8%), el mayor aporte fue del ácido graso 18:3n-3. El valor más alto de ω6 lo presentó la cepa IMP-BG-219, *P. boryanum* (10.2%), y el mayor aporte fue del ácido graso 18:2n-6.

En la Tabla 3 se agruparon las cepas del género *Desmodesmus* del grupo Chlorophyta. Los ácidos grasos de las cepas de *D. armatus* presentaron diferentes valores a pesar que son de la misma especie. Los ácidos grasos que presentaron mayor porcentaje fueron 16:0 (26.1%), 18:1n-7 (32.4%) y 18:3n-3 (26.8%) en la cepas IMP-BG-262, IMP-BG-265 e IMP-BG-285 respectivamente. Este género presentó un porcentaje de EPA que no sobrepasó el 0.6% y no se detectó presencia de DHA. Los SAFAs obtuvieron valores entre 16 y 26% y el mayor aporte fue del ácido graso 16:0 al igual que el grupo anterior. Los MUFAs obtuvieron valores entre 20 y 40% y el mayor aporte fue del ácido graso 18:1n-7 y 18:1n-9. El valor más alto de ω3 lo presentó la cepa IMP-BG-275 de la especie *D. armatus* (47.1%) y el mayor aporte fue del ácido graso 18:3n-3 mientras que en ω6 fue del ácido graso 18:2n-6.

La Tabla 4 muestra los ácidos grasos de las especies del grupo Bacillariophyta, comúnmente denominadas diatomeas. Los ácidos grasos más abundantes fueron el 14:0, 16:1n-7, 18:1n-7 y EPA. En este grupo las cepas del género *Chaetoceros* mostraron un alto valor de 14:0 y 18:1n-7 en comparación a otros géneros, siendo *C. didymus* la especie con mayor porcentaje (31.5%) de 14:0 y *C. compressus* en 18:1n-7 (24.8%). Por otro lado, la cepa de *Skeletonema var. mariori* presentó el mayor porcentaje en 16:1n-7 (20.2%), mientras que la cepa de *Navicula* sp. mostró el mayor porcentaje de 18:4n-3 (28.3%). Este último ácido graso se registró en poca cantidad y muchas veces no se detectó en el grupo del género de *Chaetoceros*. Todas las cepas del grupo Bacillariophyta registraron altos valores de EPA, siendo *Asterionellopsis* sp. la especie con mayor porcentaje de este ácido graso (31.5%) seguida de *Chaetoceros debilis* (31.3%). La cepa que obtuvo el valor más alto de PUFAs (45.5%) y de ω3 (44.5%) fue *Navicula* sp. siendo el EPA el ácido graso de mayor aporte.

En la Tabla 5 se agruparon las cepas del grupo Miozoa o Dinophyta las cuales presentaron altos valores de DHA superando el 20% en todas las cepas analizadas. *Akashiwo sanguinea* fue la especie que presentó mayor porcentaje de este ácido graso (29.9%) además de 16:0 (24.8%) y 20:5n-3 (EPA) (16%). Sin embargo en comparación con las otras especies de este grupo, *A. sanguinea* presentó un porcentaje menor a 1% del ácido graso C18:5n-3, siendo la cepa IMP-BG-062 de la especie *P. micans* la que obtuvo mayor porcentaje en este ácido graso (26.9%). Los SAFAs presentaron valores entre el 20 y 30% y el mayor aporte

**Tabla 2.** Composición de ácidos grasos del grupo Chlorophyta (grupo N° 1). (a) *T. contracta*, (b) *T. suecica*, (c) *T. suecica*, (d) *C. reinhardtii*, (e) *P. boryanum*, (f) *P. boryanum*, (g) *P. cf. orientale*, (h) *C. arcuata*, (i) *D. armatus*, (j) *D. communis*, (k) *A. dimorphus*, (l) *A. dimorphus*, (m) *S. obtusus*, (n) *S. breviaculeatus*, (o) *D. armatus*, (p) *D. subspicatus*. Resultados expresados en porcentaje relativo.

FA	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
14:0	0.4	-	0.6	4.6	0.3	0.2	0.2	1.2	0.4	0.7	-	0.3	0.4	-	0.6	1.3
16:0	23.5	22.1	25.8	41.2	16.6	15.0	14.7	25.9	24.2	20.6	21.7	21.1	28.9	26.1	11.3	19.3
18:0	0.4	-	0.5	1.0	0.3	0.2	0.4	2.1	2.4	3.2	3.0	1.5	2.4	1.7	1.3	1.9
<b>ΣSAFAs</b>	24.3	22.1	26.9	46.8	17.2	15.4	15.3	29.2	27.0	24.5	24.7	22.9	31.7	27.8	13.2	22.5
16:1n-7	0.4	0.6	1.4	3.9	2.1	0.4	2.4	1.3	0.8	1.7	0.6	0.3	0.5	2.2	0.8	3.3
16:1n-9	5.5	7.9	3.3	9.2	4.4	9.2	6.5	7.0	6.1	3.6	0.4	5.7	3.9	1.5	6.5	3.0
18:1n-7	3.3	4.3	22.6	18.3	32.7	2.0	2.8	3.3	20.4	1.5	1.2	30.7	33.6	5.9	1.7	30.6
18:1n-9	7.1	6.7	-	3.5	-	20.3	22.5	11.0	-	7.3	37.1	-	-	15.1	15.7	-
<b>ΣMUFAs</b>	16.3	19.5	27.3	34.9	39.2	31.9	34.2	22.6	27.3	14.1	39.3	36.7	38.0	24.7	24.7	36.9
16:2n-4	0.3	0.9	0.1	-	4.0	-	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:3n-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:4n-3	16.5	14.9	10.7	2.0	3.8	5.0	7.3	5.9	6.1	11.9	3.1	6.7	3.4	5.3	10.9	4.0
18:2n-6	3.3	3.8	5.4	3.5	5.1	8.7	5.6	5.6	6.6	4.9	8.4	6.5	4.6	4.5	5.7	9.2
18:3n-3	16.3	14.2	13.9	5.8	17.7	26.4	22.3	22.2	21.3	21.3	1.0	15.7	12.3	23.2	32.2	16.9
18:3n-6	0.6	1.2	0.3	2.6	0.4	0.3	0.3	-	1.1	1.2	-	0.5	-	0.4	0.7	0.4
18:4n-3	10.4	12.7	4.9	-	2.6	1.8	3.4	9.1	5.0	5.2	2.6	3.8	5.3	4.2	4.9	3.0
18:5n-3	0.9	1.8	1.6	-	2.6	0.9	0.8	-	0.7	0.2	0.5	0.7	0.2	0.9	0.3	-
20:3n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	1.4	3.6	-	-	1.0	0.4	-
20:4n-3	0.9	-	0.5	-	-	0.3	-	-	-	-	1.0	0.7	-	-	-	-
20:4n-6	0.7	0.4	0.4	-	0.3	1.2	0.6	-	0.1	0.5	1.3	0.8	-	-	-	-
20:5n-3	5.5	2.4	4.9	-	0.2	0.2	-	-	-	1.6	0.5	-	0.4	-	-	-
22:5n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:6n-3	-	-	-	-	0.9	1.1	0.6	1.3	0.1	-	-	-	1.1	-	-	-
<b>ΣPUFAs</b>	55.4	52.3	42.7	13.9	37.6	45.9	44.2	44.1	41.3	48.2	22.0	35.4	27.3	39.5	55.1	33.5
<b>DHA/EPA</b>	-	-	-	-	4.5	5.5	-	-	-	-	-	-	2.8	-	-	-
<b>ΣDHA+EPA</b>	5.5	2.4	4.9	-	1.1	1.3	0.6	1.3	0.1	1.6	0.5	-	1.5	-	-	-
<b>ω3</b>	50.5	46.0	36.5	7.8	27.8	35.7	34.4	38.5	33.5	41.6	12.3	27.6	22.7	34.6	48.7	23.9
<b>ω6</b>	4.6	5.4	6.1	6.1	5.8	10.2	6.5	5.6	7.8	6.6	9.7	7.8	4.6	4.9	6.4	9.6
<b>ω3/ω6</b>	11.0	8.5	6.0	1.3	4.8	3.5	5.3	6.9	4.3	6.3	1.3	3.5	4.9	7.1	7.6	2.5

**Tabla 3.** Composición de ácidos grasos del grupo Chlorophyta (grupo N° 2). (a) *D. armatus*, (b) *D. armatus*, (c) *D. armatus*, (d) *D. armatus*, (e) *D. armatus*, (f) *D. armatus*, (g) *D. brasiliensis*, (h) *D. dispar*, (i) *D. communis*, (j) *D. armatus*, (k) *D. armatus*, (l) *D. armatus*, (m) *D. brasiliensis*, (n) *D. armatus*, (o) *D. armatus*, (p) *D. subspicatus*. Resultados expresados en porcentaje relativo.

FA	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
14:0	1.7	1.0	1.1	-	-	-	0.1	0.4	1.0	2.6	-	-	0.2	-	0.1	0.1
16:0	19.3	21.0	26.1	18.0	24.3	25.2	24.5	20.4	16.9	20.2	22.2	20.6	16.5	21.6	15.9	15.4
18:0	1.5	0.8	0.8	0.7	1.4	0.7	1.6	3.4	0.7	-	0.5	0.4	0.8	0.6	1.2	1.1
<b>ΣSAFAs</b>	<b>22.5</b>	<b>22.8</b>	<b>28.0</b>	<b>18.7</b>	<b>25.7</b>	<b>25.9</b>	<b>26.2</b>	<b>24.2</b>	<b>18.6</b>	<b>22.8</b>	<b>22.7</b>	<b>21.0</b>	<b>17.5</b>	<b>22.2</b>	<b>17.2</b>	<b>16.6</b>
16:1n-7	3.8	0.7	4.3	1.1	4.9	0.8	0.3	1.1	0.9	1.5	1.1	0.9	4.5	2.0	0.4	0.3
16:1n-9	3.4	6.1	5.2	4.1	1.5	10.7	6.9	9.9	4.3	4.9	5.8	7.1	6.2	6.1	2.4	4.0
18:1n-7	22.7	1.5	3.7	4.3	32.4	1.5	26.2	2.1	23.4	4.1	2.5	1.7	2.4	2.2	21.9	22.2
18:1n-9	-	16.0	12.5	9.3	-	15.4	-	13.0	-	9.9	15.7	10.9	22.0	15.3	-	-
<b>ΣMUFA</b> s	<b>29.9</b>	<b>24.3</b>	<b>25.7</b>	<b>18.8</b>	<b>38.8</b>	<b>28.4</b>	<b>33.4</b>	<b>26.1</b>	<b>28.6</b>	<b>20.4</b>	<b>25.1</b>	<b>20.6</b>	<b>35.1</b>	<b>25.6</b>	<b>24.7</b>	<b>26.5</b>
16:2n-4	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
16:3n-4	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
16:4n-3	8.9	8.8	8.6	19.2	3.3	5.6	6.6	10.8	11.1	9.2	5.7	8.3	10.7	6.8	8.9	9.4
18:2n-6	9.4	5.8	3.5	3.8	8.4	8.1	3.7	3.9	10.7	7.9	10.1	9.7	6.5	8.9	8.6	7.7
18:3n-3	18.8	26.8	12.9	16.2	11.3	14.8	16.7	13.5	16.7	23.8	16.1	22.6	16.8	19.9	25.0	24.6
18:3n-6	0.8	0.5	0.8	0.8	1.1	2.0	0.8	2.5	1.7	0.8	2.0	1.5	1.3	1.0	1.2	1.0
18:4n-3	3.4	3.6	4.4	7.2	2.8	4.7	4.5	5.3	7.4	5.8	4.7	6.1	3.7	5.2	9.0	8.6
18:5n-3	-	0.4	-	-	0.6	0.3	1.1	0.8	-	-	0.3	-	0.2	0.3	-	-
20:3n-3	-	1.2	-	3.2	-	-	0.6	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
20:4n-3	-	-	-	1.3	-	-	0.7	0.4	-	-	0.7	-	0.5	-	0.2	-
20:4n-6	-	0.5	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	0.2	-	0.2	0.1
20:5n-3	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	0.6	0.3	0.2	0.3	-	-
22:5n-3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
22:6n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>ΣPUFA</b> s	<b>41.3</b>	<b>47.6</b>	<b>30.2</b>	<b>51.7</b>	<b>27.5</b>	<b>36.0</b>	<b>34.7</b>	<b>39.6</b>	<b>47.6</b>	<b>47.5</b>	<b>40.2</b>	<b>48.5</b>	<b>40.1</b>	<b>42.4</b>	<b>53.1</b>	<b>51.4</b>
<b>DHA/EPA</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>ΣDHA+EPA</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>ω3</b>	<b>31.1</b>	<b>40.8</b>	<b>25.9</b>	<b>47.1</b>	<b>18.0</b>	<b>25.9</b>	<b>30.2</b>	<b>32.5</b>	<b>35.2</b>	<b>38.8</b>	<b>28.1</b>	<b>37.3</b>	<b>32.1</b>	<b>32.5</b>	<b>43.1</b>	<b>42.6</b>
<b>ω6</b>	<b>10.2</b>	<b>6.8</b>	<b>4.3</b>	<b>4.6</b>	<b>9.5</b>	<b>10.1</b>	<b>4.5</b>	<b>6.7</b>	<b>12.4</b>	<b>8.7</b>	<b>12.1</b>	<b>11.2</b>	<b>8.0</b>	<b>9.9</b>	<b>10.0</b>	<b>8.8</b>
<b>ω3/ω6</b>	<b>3.0</b>	<b>6.0</b>	<b>6.0</b>	<b>10.2</b>	<b>1.9</b>	<b>2.6</b>	<b>6.7</b>	<b>4.9</b>	<b>2.8</b>	<b>4.5</b>	<b>2.3</b>	<b>3.3</b>	<b>4.0</b>	<b>3.3</b>	<b>4.3</b>	<b>4.8</b>

**Tabla 4.** Composición de ácidos grasos del grupo Bacillariophyta. (a) *C. socialis*, (b) *C. debilis*, (c) *C. compressus*, (d) *C. lorenzianus*, (e) *C. constrictus*, (f) *C. didymus*, (g) *C. sp.*, (h) *A. sp.*, (i) *S. var. maiori*, (j) *S. costatum*, (k) *N. sp.*, (l) *G. sp.*, (m) *T. sp.*, (n) *T. sp.*, (o) *E. alata*, (p) *S. turris*. Resultados expresados en porcentaje relativo.

FA	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
14:0	16.3	23.7	9.7	19.5	23.3	31.5	26.6	12.1	22.2	21.4	16.4	27.5	21.5	16.3	16.9	15.5
16:0	11.6	6.0	15.8	8.9	1.0	19.4	13.3	6.9	5.8	8.5	19.1	12.2	6.6	22.8	14.4	24.2
18:0	1.9	1.0	2.2	0.7	0.7	-	1.4	0.6	0.6	-	0.5	-	-	-	0.4	1.0
<b>ΣSAFAs</b>	<b>29.8</b>	<b>30.7</b>	<b>27.7</b>	<b>29.1</b>	<b>25.0</b>	<b>50.9</b>	<b>41.3</b>	<b>19.6</b>	<b>28.6</b>	<b>29.9</b>	<b>36.0</b>	<b>39.7</b>	<b>28.1</b>	<b>39.1</b>	<b>31.7</b>	<b>40.7</b>
16:1n-7	8.5	14.0	1.0	21.0	16.6	13.1	15.1	13.3	20.2	17.0	4.3	17.1	8.5	12.6	16.8	20.4
16:1n-9	1.4	0.9	6.2	3.2	6.8	4.8	7.0	3.5	1.6	4.3	3.2	2.2	3.7	4.0	3.5	3.0
18:1n-7	19.0	7.1	24.8	6.4	1.5	15.9	18.4	5.6	4.8	5.8	0.8	1.7	2.9	2.9	3.5	7.1
18:1n-9	5.0	2.6	8.9	2.3	1.4	2.1	1.2	0.7	2.6	1.5	6.2	0.6	0.8	1.1	0.6	1.1
<b>ΣMUFA</b> s	<b>33.9</b>	<b>24.6</b>	<b>40.9</b>	<b>32.9</b>	<b>26.3</b>	<b>35.9</b>	<b>41.7</b>	<b>23.1</b>	<b>29.2</b>	<b>28.6</b>	<b>14.5</b>	<b>21.6</b>	<b>15.9</b>	<b>20.6</b>	<b>24.4</b>	<b>31.6</b>
16:2n-4	2.6	3.4	0.8	9.8	7.1	-	2.7	3.1	3.7	2.5	0.3	3.4	1.5	2.7	5.2	1.5
16:3n-4	1.3	1.9	-	4.1	5.1	2.1	1.3	1.5	9.7	11.7	0.3	1.5	4.3	4.8	14.4	4.3
16:4n-3	0.7	0.2	-	-	0.6	-	-	-	-	0.4	0.4	0.3	-	-	-	-
18:2n-6	0.8	0.3	0.7	-	1.9	-	-	1.0	1.6	1.0	0.9	0.2	2.1	1.8	1.4	-
18:3n-3	1.7	1.2	4.4	-	0.2	-	-	1.0	0.9	0.4	-	-	-	-	-	-
18:3n-6	-	0.2	-	-	0.3	-	-	-	0.2	0.3	0.5	-	-	-	1.2	1.1
18:4n-3	-	0.5	-	-	0.7	-	-	1.3	3.3	3.1	28.3	3.2	7.5	4.5	2.0	-
18:5n-3	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-
20:3n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:4n-3	-	-	-	-	0.2	-	-	0.5	-	-	0.3	-	-	-	-	-
20:4n-6	1.7	0.2	-	2.1	0.4	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	2.6	-
20:5n-3	6.6	31.3	4.9	14.7	11.6	6.8	6.1	31.5	14.0	12.8	14.0	14.3	23.9	14.9	5.6	12.6
22:5n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	-
22:6n-3	-	-	-	1.8	1.2	-	-	1.1	1.8	1.4	-	6.6	2.1	1.6	4.3	1.1
<b>ΣPUFA</b> s	<b>15.6</b>	<b>39.2</b>	<b>10.8</b>	<b>32.5</b>	<b>29.3</b>	<b>8.9</b>	<b>10.1</b>	<b>41.8</b>	<b>35.2</b>	<b>33.6</b>	<b>46.5</b>	<b>29.5</b>	<b>41.4</b>	<b>30.3</b>	<b>36.7</b>	<b>20.6</b>
<b>DHA/EPA</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.1</b>
<b>ΣDHA+EPA</b>	<b>6.6</b>	<b>31.3</b>	<b>4.9</b>	<b>16.5</b>	<b>12.8</b>	<b>6.8</b>	<b>6.1</b>	<b>32.6</b>	<b>15.8</b>	<b>14.2</b>	<b>14.0</b>	<b>20.9</b>	<b>26.0</b>	<b>16.5</b>	<b>9.9</b>	<b>13.7</b>
<b>ω3</b>	<b>9.2</b>	<b>33.2</b>	<b>9.3</b>	<b>16.5</b>	<b>14.5</b>	<b>6.8</b>	<b>6.1</b>	<b>35.4</b>	<b>2.0</b>	<b>18.1</b>	<b>44.5</b>	<b>24.4</b>	<b>33.5</b>	<b>21.0</b>	<b>11.9</b>	<b>13.7</b>
<b>ω6</b>	<b>2.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>2.1</b>	<b>2.6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>	<b>0.2</b>	<b>2.1</b>	<b>1.8</b>	<b>5.2</b>	<b>1.1</b>
<b>ω3/ω6</b>	<b>3.7</b>	<b>47.4</b>	<b>13.3</b>	<b>7.9</b>	<b>5.6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>19.7</b>	<b>11.1</b>	<b>13.9</b>	<b>31.8</b>	<b>-</b>	<b>16.0</b>	<b>11.7</b>	<b>2.3</b>	<b>12.5</b>



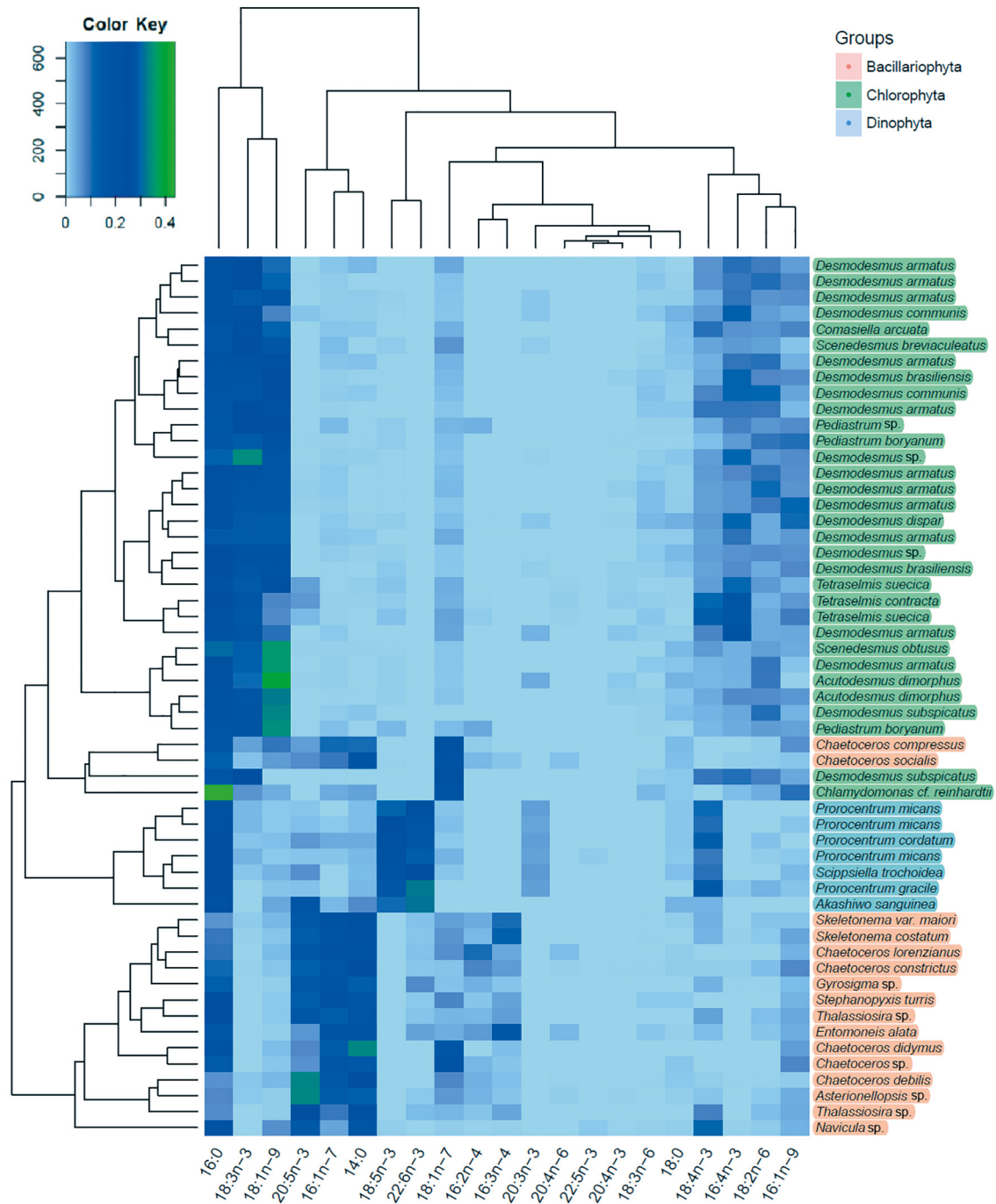


Figura 2. Heat Map de clasificación de cepas caracterizadas por ácidos grasos.

lariophyta y Dinophyta se encuentran emparentados por un ancestro común originario, lo cual explica su capacidad de producir ácidos grasos poliinsaturados de cadena muy larga (Keeling 2010).

También se observaron diferencias en la proporción de ácidos grasos entre cepas de la misma especie. Tal es el caso de las cepas de la especie *Desmodesmus armatus*, aisladas de diferentes lagunas altoandinas del Perú, que presentaron diferentes proporciones de ácidos grasos aun cuando se cultivaron a las mismas condiciones de laboratorio. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Toledo-Cervantes et al. (2018) en cepas de *Scenedesmus obtusiusculus* de México, asimismo concu-

erdan con los resultados de Selvarajan et al. (2014) en cepas de *Chlorella vulgaris* de la India. Muchas veces las cepas microalgales de la misma especie pero aisladas de diferentes ambientes exhiben diferentes actividades fisiológicas y producen diferentes biomoléculas (Gram et al. 2014). En estos casos, la diversidad fenotípica (adaptaciones plastidiales de las microalgas) es mayor a la genotípica lo que nos brinda la oportunidad de obtener nuevos metabolitos de diferentes ambientes ecológicos (Thangavel et al. 2018).

De otro lado, Suh et al. (2015) determinaron los perfiles de ácidos grasos de 20 cepas de microalgas marinas de Corea, las cuales 8 especies de microalgas coinciden



con analizadas en este trabajo (4 de Dinophyta, 3 de Bacillariophyta y 1 de Chlorophyta). En Dinophyta, la cepa de *A. akashiwo* presentó un mayor porcentaje de DHA superando a la cepa coreana en un 6%, sin embargo presentó un 4.1% menos de EPA. Por otro lado, las cepas coreanas no identificaron la presencia del ácido graso 18:5n-3 (OPA), el cual fue determinado en este análisis con un alto porcentaje en los géneros *Prorocentrum* y *Scrippsiella* siendo un ácido graso discriminante para el grupo. También se observó que el porcentaje del ácido graso OPA es 15 veces menor en la cepa *A. sanguinea* en comparación a las demás cepas de este grupo. El ácido graso OPA se encuentra relacionado a los Haptophyta y en muchas microalgas marinas los doble enlaces de este ácido graso están presentes en paredes celulares ubiquitinas, guardando estrecha relación con la presencia de placas en la pared celular de los géneros *Prorocentrum* y *Scrippsiella*. La especie *A. sanguinea*, al ser un dinoflagelado desnudo o con ausencia de tecas, presenta en menor proporción este ácido graso discriminante (Sayanova et al. 2011). En el grupo Bacillariophyta, ambas cepas de la especie *C. didymus* obtuvieron porcentajes parecidos en EPA y 16:0, sin embargo la cepa coreana de *S. costatum* presentó mayor porcentaje en EPA y DHA que la cepa peruana. En el grupo Chlorophyta, la cepa peruana del género *Chlamydomonas* presentó un mayor porcentaje de 16:0 que la cepa coreana, no obstante, en esta última se determinó la presencia de EPA el cual es discriminante para la clasificación de grupos taxonómicos. Este ácido graso esencial se encuentra muy rara vez en Chlorophyta, siendo algunas especies y cepas que presentan un porcentaje significativo, siendo el caso de *C. allensworthii* (22.3%) (Lang et al. 2011).

La proporción de ácidos grasos depende del hábito alimenticio de los organismos cultivados. Los peces omnívoros y herbívoros, a lo contrario de los peces carnívoros, poseen la capacidad de sintetizar ácidos grasos de cadena larga (omega 3) mediante la elongación de 18:3n-3 (ALA), por lo tanto requieren una mayor cantidad de este ácido graso y menor cantidad de EPA y DHA en su dieta (Watters et al. 2012). Por lo descrito anteriormente y según los resultados de los análisis de los perfiles de ácidos grasos se sugiere el uso de microalgas clorófitas para la alimentación de peces omnívoros y herbívoros por su alto contenido de ALA y bajo contenido de EPA y DHA. Por otro lado, dentro del grupo Chlorophyta, existen cepas que presentan un alto contenido de  $\omega 3$  como *Tetraselmis contracta* (IMP-BG-003) y *Desmodesmus armatus* (IMP-BG-259) importantes para la síntesis de ácidos grasos esenciales.

En la acuicultura, los rotíferos se han desarrollado como alimento vivo por la facilidad de su cultivo (Castro et al. 2003), calidad nutritiva (Shepherd & Bromage 1999) y movimiento adecuado para ser presa fácil (Snell et al. 1987). Sin embargo, el rotífero *Brachionus*, no presenta la capacidad para producir EPA ni DHA (Whyte & Nagata 1990). Actualmente los rotíferos son enriquecidos con una dieta basada en microalgas con alto contenido de DHA, como *Isochrysis galbana*, y así ser utilizados como alimento vivo durante el periodo larval de peces (Watters et al. 2012). También puede enriquecerse a los rotíferos

con microencapsulados de aceites y emulsiones, no obstante se recomienda el alimento directo de microalgas por contener vitaminas, proteínas y elementos trazas necesarios para el mantenimiento del organismo (Barclay & Zeller 1996). Según la relación de ácidos grasos esenciales (DHA/EPA) obtenida en nuestro estudio, las cepas *P. micans* (IMP-BG-062) y *A. sanguinea* (IMP-BG-127), del grupo Dinophyta serían una importante fuente de DHA Mientras que las cepas Bacillariophyta *E. alata* (IMP-BG-431) y *Asterionellopsis* sp. (IMP-BG-097), serían importante fuente de EPA. Además, la mayor proporción de  $\omega 3/\omega 6$  (47.4), en la cepa *Chaetoceros debilis* (IMP-BG-056) también la indicaría óptima para alimentación de rotíferos. Por otro lado, los cultivos masivos de las especies de Dinophyta estudiadas (*P. micans*, *P. gracile* y *S. trochoidea*) presentan un alto contenido de OPA, ácido graso que ha sido reportado como agente hemolítico en el dinoflagelado *Karenia mikimotoi* durante un episodio de mortandad de krill en las costas de Noruega (Yasumoto et al. 1990).

Durante la etapa larvaria de la concha de abanico *Argopecten purpuratus*, se les suministra una combinación de diversas microalgas que presentan diferentes proporciones de DHA y EPA. Este último ácido graso es importante en el proceso de la metamorfosis de las larvas a estadios juveniles acelerando el crecimiento del bivalvo (Farías & Uriarte 2006). En organismos adultos el DHA y el AA son utilizados para la maduración de la gónada y del músculo abductor (Palma-Fleming et al. 2002). Las especies de microalgas más utilizadas para alimentación de estos moluscos son *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* por la proporción de ácidos grasos (DHA: EPA), mejor digestibilidad y aporte de otros minerales esenciales para la formación y fortalecimiento de valvas (Navarro et al. 2000). Otros autores recomiendan el suministro de microalgas del género *Tetraselmis* junto con *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* durante la etapa larval para una mayor supervivencia en el proceso de aparición de mancha ocular entre otros cambios morfológicos (Velasco & Barros 2008, Uriarte et al. 2001, Carreño Hernández et al. 2012). Por lo anteriormente descrito, se recomienda realizar estudios con las cepas *Chaetoceros debilis* (IMP-BG-056) para alimentación de *A. purpuratus* por su alto contenido de EPA (31.3%), además de la cepa de *P. gracile* (IMP-BG-115) por su mayor contenido de AA (5.7%) y de DHA (28.7%).

### Literatura citada

- Archibald J. 2005. Jumping genes and shrinking genomes-probing the evolution on eukaryotic photosynthesis using genomics. *IUBMB Life* 57: 539-547. doi: <https://doi.org/10.1080/15216540500167732>
- Barclay W., and S. Zeller. 1996. Nutritional enhancement of n-3 and n-6 fatty acids in rotifer and Artemia Nauplii by feeding spray-dried Schizochytrium sp. *Journal of the World Aquaculture Society* 27: 314-322. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1996.tb00614.x>
- Bengtson DA. 2007. Status of Marine Aquaculture in Relation to Live Prey: Past, Present and Future. In: *Live Feeds in Marine Aquaculture*. John Wiley & Sons, Ltd. p. 1-16. doi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470995143.ch1>



- Benkendorff K., A.R. Davis, C.N. Rogers, and J.B. Brenner. 2005. Free fatty acids and sterols in the benthic spawn of aquatic molluscs, and their associated antimicrobial properties. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 316: 29-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.10.001>
- Brown M.R., L.E. Cruz Suárez, D. Ricque Marie, M. Tapia Salazar, M.G. Gaxiola Cortés, N. Simoes. 2002. Nutritional value of microalgae for aquaculture. In *Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, 60-70. México.
- Brown M.R., S.W. Jeffrey, J.K. Volkman, and G.A. Dunstan. 1997. Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture* 151: 315-331. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01501-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01501-3)
- Cahu C.H., J.Z. Infante, and T. Takeuchi. 2003. Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture* 227: 254-258. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00507-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00507-6)
- Carreño Hernández Y.K., E. Acosta Ortiz, and J. Gómez-León. 2012. Crecimiento y supervivencia de larvas de *Argopecten nucleus* alimentadas con diferentes dietas microalgales. *Boletín Investigaciones Marinas y Costeras* 41: 103-120. doi: <https://doi.org/10.25268/bimc.invenmar.2012.41.1.75>
- Castro T., R. De Lara, G. Castro, J. Castro, and A. Malpica. 2003. Alimento vivo en la acuicultura. *ContactoS México* 48: 27 -33.
- Coutteau P., and P. Sorgeloos. 1992. The use of algal substitutes and the requirement for live algae in the hatchery and nursery rearing of bivalve molluscs: an international survey. *Journal of Shellfish Research* 11: 467-476.
- Dunstan G.A., J.K. Volkman, S.M. Barrett, J.M. Leroi, and S.W. Jeffrey. 1994. Essential polyunsaturated fatty acids from 14 species of diatom (Bacillariophyceae). *Phytochemistry* 35: 155-161. doi: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)90525-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)90525-9)
- Enright C.T., G.F. Newkirk, J.S. Carigie, and J.D. Castell. 1986. Evaluation of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 96: 1-13. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90009-2](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90009-2)
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Rome: FAO, 2018.
- Farías A., and I. Uriarte. 2006. Nutrition in pectinids. In *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*, by S.E. Shumway and G.J. Parsons. 521-542. Elsevier. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-9309\(06\)80036-0](https://doi.org/10.1016/S0167-9309(06)80036-0)
- Grama B.S., S. Chader, D. Khelifi, B. Stenuit, C. Jeffryes, and S.N. Agathos. 2014. Characterization of fatty acid and carotenoid production in an *Acutodesmus* microalga isolated from the Algerian Sahara. *Biomass and Bioenergy* 69:265-75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.07.023>
- Griffiths M.J., R.P. Van Hille, and S.T. Harrison. 2010. Selection of direct transesterification as the preferred method for assay of fatty acid content of microalgae. *Lipids* 45(11): 1053-1060. doi: <https://doi.org/10.1007/s11745-010-3468-2>
- Guedes A.C., and F. X. Malcata. 2012. Nutritional value and uses of microalgae in aquaculture. *Aquaculture*: 59-78. doi: <https://doi.org/10.5772/30576>
- Han K., I. Geurden, and P. Sorgeloos. 2000. Comparison of docosahexaenoic acid (22:6n-3) levels in various *Artemia* strains during enrichment and subsequent starvation. *Journal of World Aquaculture Society* 31: 469-475. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00897.x>
- Izquierdo M.S., and H. Fernández Palacios. 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture* 197: 25-42. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50913-0.50006-0>
- Keeling P.J. 2010. The endosymbiotic origin, diversification and fate of plastids. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365 (1541): 729-748. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0103>
- Khozin-Goldberg I., U. Iskandarov and Z. Cohen. 2011. LC-PUFA from photosynthetic microalgae: occurrence, biosynthesis, and prospects in biotechnology. *Apply Microbiology Biotechnology* 91: 905-915. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3441-x>
- Kumari P., M. Kumar, C.R.K. Reddy and B. Jha. 2013. Algal lipids, fatty acids and sterols. In *Functional ingredients from algae for foods and nutraceuticals*, by H. Domínguez, 3, 67-76. Woodhead Publishing Ltd: Cambridge. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857098689.1.87>
- Lang I., L. Hodac, T. Friedl, and I. Feussner. 2011. Fatty acid profiles and their distribution patterns in microalgae: a comprehensive analysis of more than 2000 strains from the SAG culture collection. *BMC Plant Biology* 11: 124-140. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-124>
- Mihalitsis D.R., and M. Bellwood. 2017. A morphological and functional basis for maximum prey size in piscivorous fishes. *Plone One* 12 (9): e0184679. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184679>
- Muller-Feuga A. 2000. The role of microalgae in aquaculture: situation and trends. *Journal of Applied Phycology* 12: 527-534. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1008106304417>
- Navarro J.C., L.A. McEvoy, M.V. Bell, F. Amat, F. Hontoria and J.R. Sargent. 1995. Effect of dietary lipids on the lipid composition of fish larvae eyes. In *Fish and shellfish larviculture symposium*. European Aquaculture Society, by P. Lavens, E. Jaspers and E. Roelants, 196-199. Ghent, Belgium: Larvi 95.
- Navarro J.M., G.E. Leiva, G. Martínez, and C. Aguilera. 2000. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 247: 67-83. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00140-4](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00140-4)
- Palma-Fleming H., J. M. Navarro, E. Peña, and G. Martínez. 2002. Effect of three conditioning diets on the fatty acid composition of gonads and muscle of *Argopecten purpuratus*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 36(3): 605-620. doi: <https://doi.org/10.1080/00288330.2002.9517116>
- Patil V., K.L. Reitan, G. Knutsen, L.M. Mortensen, T. Källqvist, and E. Olsen. 2005. Microalgae as source of polyunsaturated fatty acids for aquaculture. *Current Topics in Plant Biology* 6: 57-65.
- Patil V., T. Källqvist, E. Olsen, G. Vogt, and H. Gislerod. 2007. Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed. *Aquaculture International* 15: 1-9. doi: <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9060-3>
- Pillay T.V.R. 1997. *Acuicultura. Principios y prácticas*. Ed. Limusa. México: 697.

- Sargent J.R., J.G. Bell, R.J. Henderson, and D.R. Tocher. 1995. Requirement criteria for essential fatty acids. *Journal of Applied Ichthyology* 11: 183-198. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1995.tb00018.x>
- Sargent J., G. Bell, L. McEvoy, D. Tocher, and A. Estevez. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177: 191-199. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00083-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00083-6)
- Sayanova O., R.P. Haslam, M.V. Calerón, N.R. López, C. Worthy, and P. Rooks. 2011. Identification and functional characterisation of genes encoding the omega-3 polyunsaturated fatty acid biosynthetic pathway from the coccolithophore *Emiliania huxleyi*. *Phytochemistry* 72: 594-600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.022>
- Schlechtriem C., M.T. Arts, and I.D. Zellmer. 2006. Effect of temperature on the fatty acid composition and temporal trajectories of fatty acids in fasting *Daphnia pulex* (Crustacea, Cladocera). *Lipids* 41: 397-400. doi: <https://doi.org/10.1007/s11745-006-5111-9>
- Selvarajan R., P. Velu, and E. Sanniyasi. 2014. Molecular characterization and fatty acid profiling of indigenous microalgae species with potential for biofuel production in Tamil Nadu India. *Internacional Multidisciplinary Research Journal, Golden Research Thoughts* 3: 1-9.
- Shepherd J., and N. Bromage. 1999. *Piscicultura Intensiva*. Zaragoza: Acribia S.A.
- Smith V.J., A.P. Desbois, and E.A. Dyrinda. 2010. Conventional and unconventional antimicrobials from fish, marine invertebrates and micro-algae. *Marine Drugs* 8: 1213-1262. doi: <https://doi.org/10.3390/md8041213>
- Snell T. W., M.J. Childress, and E.M. Boyer. 1987. Assessing the status of rotifer mass culture. *Journal World Aquaculture Society* 18: 270-277. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1987.tb01038.x>
- Su H.M., M.S. Su, and C. Liao. 1996. Preliminary results of providing various combinations of live food to groupers (*Epinephelus coioides*) larvae. In *Live Food in Aquaculture: Proceedings of the Live Food and Marine Larviculture Symposium*, by A. Hagiwara, T. W. Snell, E. Lubzens and C. S. Tamaru, 301-304. Nagasaki. doi: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2097-7\\_48](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2097-7_48)
- Suh, S., et al. 2015. Fatty acid methyl ester profiles and nutritive values of 20 marine microalgae in Korea. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 191-196. doi: [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(14\)60313-8](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(14)60313-8)
- Thangavel, Kalaiselvi, et al. 2018. Growth and metabolic characteristics of oleaginous microalgal isolates from Nilgiri biosphere Reserve of India. *BMC Microbiology*, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1144-x>
- Thompson, P. A, M Guo, and P. J Harrison. 1993. The influence of irradiance on the biochemical composition of three phytoplankton species and their nutritional value for larvae of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Marine Biology* 117: 259-268. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00345671>
- Toledo-Cervantes A., G. Garduño Solórzano, J.E. Campos, M. Martínez-García, and M. Morales. 2018. Characterization of *Scenedesmus obustus* AT-UAM for high-energy molecules accumulation: deeper insight into biotechnological potential of strains of the same species. *Biotechnology Reports* 17: 16-23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.11.009>
- Uriate I., G. Rupp, and A. Abarca. 2001. Producción de juveniles de pectínidos iberoamericanos bajo condiciones controladas. In *Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: ciencia y acuicultura*, by A. N. Maeda-Martínez, 501. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Velasco L.A., and J. Barros. 2008. Experimental larval culture of the Caribbean scallops *Argopecten nucleus* and *Nodipecten nodosus*. *Aquaculture* 39: 603-618. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01917.x>
- Watters C., S. Iwamura, H. Ako, and D-F. Deng. 2012. Nutrition considerations in aquaculture: the importance of omega-3 fatty acids in fish development and human health. *Foods and Nutrition* FN-11: 1-7.
- Whyte J.N.C. 1987. Biochemical composition and energy content of six species of phytoplankton used in mariculture of bivalves. *Aquaculture* 119: 231-241. doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90290-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90290-0)
- Whyte J.N., and W.D. Nagata. 1990. Carbohydrate and fatty acid composition of the rotifer, *Brachionus plicatilis*, fed monospecific diets of yeast or phytoplankton. *Aquaculture* 89: 263-272. doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90131-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90131-6)
- Yasumoto T., B. Inderdal, T. Aune, V. Hormazabal, O. M. Skulberg, and Y. Oshima. 1990. Screening for hemolytic and ichthyotoxic components of *Chrysochromulina polyepis* and *Gyrodinium aureolum* from Norwegian coastal waters. In *Toxic marine phytoplankton*, by E. Graneli, B. Sundström, L. Edler and D.M. Anderson, 436-440. New York: Elsevier.

**Agradecimientos:**

Nuestro agradecimiento especial a la Mg. Liz Cecil Tenorio García Blásquez por su colaboración en la entrega de inóculo de cepas del grupo Miozoa (dinoflagelados) y la identificación de estas; al Blg. Leonardo Mendoza Carbajal por su ayuda en la identificación de especies de las cepas del grupo Chlorophyta.

**Rol de los autores:**

HHA, LFR, ARS: realizaron el diseño experimental, los experimentos y redactaron el manuscrito; HHA, LFR: realizaron el análisis de datos, revisaron y aprobaron el manuscrito.

**Conflicto de intereses:**

Los autores no incurrir en conflictos de intereses.

**Fuentes de financiamiento:**

Presupuesto por Resultados: PpR "Ordenamiento y Desarrollo de la Acuicultura" (DGA- IMARPE).

**Aspectos éticos / legales:**

Las cepas analizadas son propiedad del Banco de Germoplasma de Organismos Acuáticos del Instituto del Mar del Perú. Permisos de colecta dentro del proyecto: "Búsqueda, caracterización y cultivo de microalgas de zonas altoandinas del Perú potencialmente útiles en la industria cosmética". Convenio de Cofinanciamiento N°: 201-2015-FONDECYT.