

Uso de Microalgas como Complemento Alimenticio de Especies Acuícolas: Efectos en la Condición Fisiológica, Sanitaria e Inmune

Dr. Luis R. Martínez Córdova¹, Dr. Marcel Martínez Porchas², Dr. José Antonio López Elías¹, M.C. Diana Medina Félix¹, M.C. Diana Fimbres Olivarria¹.

¹Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Blvd. Colosio S/N, Col Centro, Hermosillo, Sonora, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Km. 0.7 Carretera a La Victoria, Hermosillo, Sonora, México.

Resumen

Las microalgas son un componente esencial de diversos ecosistemas acuáticos y la base de la cadena trófica en muchos de ellos. Se han utilizado desde hace mucho tiempo en acuicultura principalmente en el cultivo larvario de moluscos, crustáceos y peces. Recientemente se han estado utilizando en la nutrición de organismos acuícolas en las etapas posteriores al cultivo larvario, no solamente como una importante aportación nutricional sino además porque en ellas se encuentran constituyentes que pueden mejorar la condición fisiológica, sanitaria e inmune de los organismos que las consumen. El presente documento es una compilación de información reciente sobre el uso de microalgas en el cultivo de organismos acuícolas más allá de sus etapas larvales, ya sea desarrolladas directamente en las unidades de cultivo o suministradas exógenamente, tanto en fresco como preservadas o incluidas como ingredientes dietarios. . Se incluyen desde luego experiencias y datos originales de los autores

Palabras clave: Microalgas; Nutrición acuícola; Biopelículas; Compuestos bioactivos.

Introducción

Las microalgas han sido ampliamente utilizadas en acuicultura, especialmente para la producción larvaria de moluscos, crustáceos y peces, para muchos de los cuáles se consideran insustituibles. En este sentido hay una vasta literatura científica que documenta el valor nutricional de muy diversas especies microalgales. Las técnicas de cultivo son también muy variadas y en la mayoría de los casos bastante bien dominadas, de tal manera que se pueden producir a nivel masivo, volúmenes enormes que son utilizadas de muy diversas maneras y para muy variados propósitos además de la nutrición de larvas. Entre ellas se pueden mencionar sus usos cosméticos y como complemento alimenticio humano, ya que se les consideran propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inclusive anticancerígenas (Saragoon *et al.* 2013).

Recientes investigaciones han mostrado que las microalgas pueden ser utilizadas también como biomasa alimenticia en las etapas posteriores al cultivo larvario de crustáceos y peces, ya que ellas contribuyen con el aporte de proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales, lípidos (especialmente ácidos grasos poli y altamente insaturados) y carbohidratos.

Adicionalmente se ha encontrado que la inclusión de microalgas en la dieta de organismos cultivados, tiene un efecto positivo en su condición fisiológica y en su estado inmune debido al aporte de compuestos fenólicos, antioxidantes e inmunoestimulantes.

Después de sus etapas larvales, la mayoría de los peces y crustáceos son poco eficientes en la captura de microorganismos (incluyendo microalgas), cuando éstos se encuentran suspendidos en la columna de agua, sin embargo son capaces de aprovecharlos adecuadamente, cuando están asociados a sustratos ya sea fijos (biopelículas o perifiton) o suspendidos (bioflóculos). En este contexto, las investigaciones se han enfocado más al uso de bacterias autótrofas y heterótrofas y en mucha menor medida al uso de microalgas. Sin

embargo en los últimos años se ha comenzado a dar importancia al uso de estas últimas y ya se pueden encontrar publicados algunos de los resultados obtenidos.

Por otra parte, la biomasa bacteriana o microalgal, puede utilizarse eficientemente como ingrediente en dietas para organismos acuícolas, proporcionando beneficios no solo nutricionales directos (crecimiento, reproducción, etc.) sino además en la mejora del estado fisiológico e inmune de los consumidores.

El presente documento compila información reciente de diferentes partes del mundo y de diferentes autores e instituciones, sobre el uso de microalgas en el cultivo de organismos acuícolas después de sus etapas larvales, ya sea consumidas directamente en las unidades de cultivo o proporcionadas exógenamente, tanto en fresco como preservadas o incluidas como ingredientes dietarios. Se incluyen desde luego experiencias y datos originales de los autores.

El Valor Nutricional de las Microalgas

Las microalgas son organismos eucariontes fotoautotróficos, generalmente microscópicos pertenecientes a las divisiones: Cryptophyceae, Dinophyceae, Prymnesiophyceae, Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Dictyochophyceae, Euglenophyceae y Chlorophyceae. Son altamente eficientes en la fijación de CO₂ así como en la utilización de la energía solar para producir biomasa. Están presentes en todos los cuerpos de agua, como lagos, mares y ríos, pero se encuentran también presentes en el suelo y en la mayoría de los ambientes terrestres. Dada la gran diversidad taxonómica las microalgas presentan diferencias notables en cuanto a su forma, tamaño, hábitat, y composición bioquímica. Sin embargo estas diferencias están no solamente asociadas a la especie, sino además a la etapa de desarrollo o edad del cultivo, a las condiciones ambientales, a la intensidad luminosa y a la disponibilidad de nutrientes entre otros factores (Roy y Pal, 2014).

Composición químico-proximal

En la tabla 1, se presentan algunos reportes sobre la composición químico-proximal de algunas de las principales microalgas utilizadas en la acuicultura. En este caso se incluye solamente el contenido de proteínas, lípidos, carbohidratos y cenizas. En general las microalgas marinas contienen en mayor proporción proteínas con valores entre 17 y 70 % (Gatenby y col., 2003, Becker, 2004). En menor proporción se encuentran los carbohidratos, con porcentajes desde un 5 hasta un 12 % (Brown, 2003) y los lípidos fluctúan entre un 7 y un 23 % (Becker, 2004).

Componentes funcionales (compuestos bioactivos)

Las microalgas han despertado fuertemente la atención por contener diferentes componentes funcionales o compuestos bioactivos que pueden ser aprovechados tanto en la nutrición y salud humana, como en la de animales cultivados, incluyendo desde luego los acuacultivos. Estos componentes son principalmente: antioxidantes como carotenos y astaxantinas; compuestos fenólicos de muy diversa composición química y eventualmente se ha considerado también la presencia de inmunoestimulantes o inmunomoduladores. En la Tabla 2, se enlistan algunas microalgas comunes y su contenido de compuestos bioactivos.

Tabla 1. Composición químico-proximal de microalgas cultivadas para acuicultura

Especie/condición cultivo	PC (%)	L (%)	CH (%)	C (%)	Fuente
<i>Chaetoceros muellerii</i> / Lab. Comercial Sonora	17.8	9.6	6.2		López Elías <i>et al.</i> (2004)
<i>Chaetoceros muellerii</i> / Lab. Comercial Sinaloa	18.5	5.3	4.9		López Elías <i>et al.</i> (2004)
<i>Spirulina (Arthrospira platensis)</i> / Biorreactor	55.8 18-73	14.2 7-23	22.2	7.8	Tibbetts <i>et al.</i> (2015) Sassano <i>et al.</i> (2010)
<i>Chlorella</i> sp./ Biorreactor	53.3	15.7	25.2	5.8	Tibbetts <i>et al.</i> (2015)
<i>Nannochloropsis granulata</i> /Fotobiorreactor	33.5	23.6	36.2	6.7	Tibbetts <i>et al.</i> (2015)
<i>Tetraselmis chuii</i> / Fotobiorreactor	46.5	12.3	25.0	16.2	Tibbetts <i>et al.</i> (2015)
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> / cultivo cerrado, 3 y 10 días	19.2 44.1	14.1 28.3	2.1 6.2	-	Yadavalli <i>et al.</i> (2014)
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> / cultivo abierto, 3 y 10 días	18.0 43.2	15.3 27.8	2.0 7.3	-	Yadavalli <i>et al.</i> (2014)
<i>Chlorella ovalis</i> / cultivo en laboratorio	32.1	0.9	27.4	34.0	Samarakoon <i>et al.</i> (2013)
<i>Nannochloropsis oculata</i> / cultivo en laboratorio	30.9	1.3	17.8	32.9	Samarakoon <i>et al.</i> (2013)
<i>Amphidinium carterae</i> / cultivo laboratorio	21.5	6.3	25.0	41.5	Samarakoon <i>et al.</i> (2013)
<i>Phaeodactylum tricornutum</i> / C. laboratorio	34.7	2.5	15.7	35.7	Samarakoon <i>et al.</i> (2013)
<i>Galdieria sulphuraria</i> / cultivo heterotrófico	26.5	0.1	6.9	-	Graziani <i>et al.</i> (2013)
<i>Galdieria sulphuraria</i> / cultivo autotrófico	32.0	0.2	6.3	-	Graziani <i>et al.</i> (2013)
<i>Thalassiosira weissflogii</i> / fase estacionaria 25 UPS	32.5	21.9	25.6	-	Lopez-Elías <i>et al.</i> (2012)
<i>Thalassiosira weissflogii</i> / fase estacionaria 50 UPS	21.2	16.2	20.9	-	Lopez-Elías <i>et al.</i> (2012)
<i>Chaetoceros muellerii</i> / fertilizante agrícola	22.7	26.3	22.7	35.5	Martinez-Cordova <i>et a.</i> (2012)
<i>Chaetoceros muellerii</i> / Medio F	18.1	27.3	18.4	34.9	Martinez-Cordova <i>et al.</i> (2012)

PC (proteína cruda); L (lípidos); CH (carbohidratos); C (cenizas)

Tabla 2. Componentes funcionales de microalgas comunes en acuicultura

Especie/condición cultivo	PUFA/HUFA (% d total)	Aminoácidos (% d total)	Antioxidantes (mg/kg)	Fenoles (mg GAE/g)	Fuente
<i>Galdieria sulphuraria</i> / cultivo heterotrófico	C18:2 19.5 C18:3 2.7		Vit E: 9.0 □ carot.: ND Astax.: ND Luteína: ND		Graziani <i>et al.</i> (2013)
<i>Galdieria sulphuraria</i> / cultivo autotrófico	C18:2 45.2 C18:3 1.1		Vit. E: 15.0 Astax: 575 Luteína: 387 □ carot. : ND		Graziani <i>et al.</i> (2013)
<i>Chaetoceros muellerii</i> / Lab. medio F2	C18:2 0.25 C18:3 4.1 C20:4 2.1 C22:6 6.9	Leu: 9.2 Arg.: 5.5 Lys.L 4.8 Met.: 4.2			Pacheco-Vega <i>et al.</i> (2009)
<i>Chaetoceros muellerii</i> / Lab. Fertilizante agrícola	C18:2 0.16 C18:2 4.9 C20:4 1.4 C22:6 3.8	Leu: 10.2 Arg.: 5.5 Lys.: 4.3 Met.: 4.3			Pacheco-Vega <i>et al.</i> (2009)
<i>Dunaliella salina</i> / 7 días Medio F2			□ caroteno: 0.52 pg/cel.		Gireesh (2009)
<i>Dunaliella salina</i> / 7 días Fert. liquido			□ caroteno: 0.64 pg/cel.		Gireesh (2009)
<i>Chlorella</i> spp/ biorreactor	C18:2 17-25 C18:3 7-20 C20:4 ND C20:5 ND		Trans luteína 2600-7400 Caroteno tot. 3088-15600		Guil-Guerrero <i>et al.</i> (2008)
<i>Modolus subterraneus</i> / biorreactor	C18:2 2.5-3.3 C18:3 0.2-1.3 C29:4 4.7-5.1 C20:5 24-27		Trans luteína 15-64 Caroteno tot. 680-4200		Guil-Guerrero <i>et al.</i> (2008)
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> / Lab.				Fenoles tot. 17.2	Li <i>et al.</i> (2007)
<i>Nitzschia laevis</i> / Lab				Fenoles tot.	Li <i>et al.</i>

				8.62	(2007)
<i>Nostoc ellipsosporum</i> / Lab				Fenoles tot. 60.3	Li <i>et al</i> (2007)
<i>Nannochloris sp.</i> /Cultivo masivo biodisel			□ caroteno: 1080-1190 Luteína: 190-2290 Caroteno Tot 1620-3060	Ác. Galico: ND- 60 Ac. Cumárico 60-70 Ac. Salicilico ND-640 Fenoles Tot. 70-1100	Pereira <i>et al</i> (2015)

Uso de Microalgas en Acuicultura

Como alimento vivo en forma de células libres

Como es ampliamente sabido las microalgas se han utilizado durante mucho tiempo para la alimentación larvaria de diversos organismos en acuicultura; en este caso, lo más usual es utilizarlas como alimento vivo en forma de células libres en la columna de agua de donde las larvas de camarones, peces y otros organismos son capaces de capturarlas y utilizarlas. Adicionalmente, en tiempos más recientes, se han estado utilizando también para complementar la alimentación de peces y camarones, más allá de sus etapas larvales, reportándose beneficios muy importantes tanto en el aspecto nutricional en sí, como en la condición fisiológica y el estado inmune de los organismos que las consumen.

Godoy *et al.* (2012) evaluaron la maternización de *Litopenaeus vannamei* en un sistema con solo diatomeas (*Thalassiosira weissflogii* y *Chaetoceros muelleri*), con solo bioflóculos y en una combinación de ambos. Los resultados indicaron que las diatomeas fueron un elemento de gran importancia, ya sean solas o en combinación con bioflóculos, teniendo un efecto muy positivo en la respuesta productiva de los camarones, tal como se observa en la Figuras 1, 2 y 3 (datos tomados del documento mencionado).

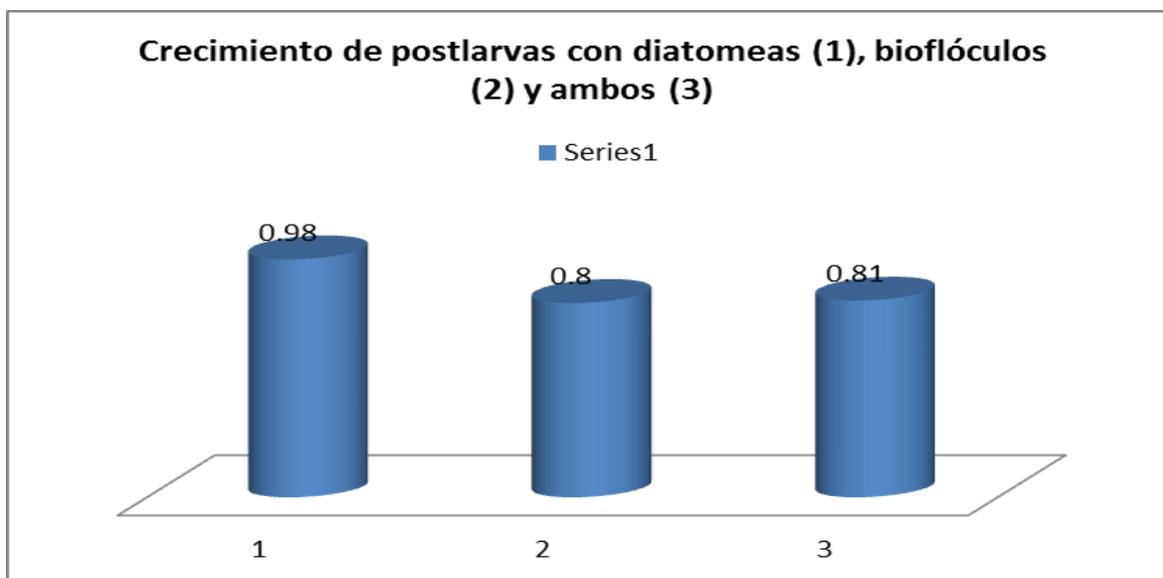


Figura 1. Crecimiento (g) de *L. vannamei* durante la maternización, utilizando diatomeas, bioflóculos y ambos.

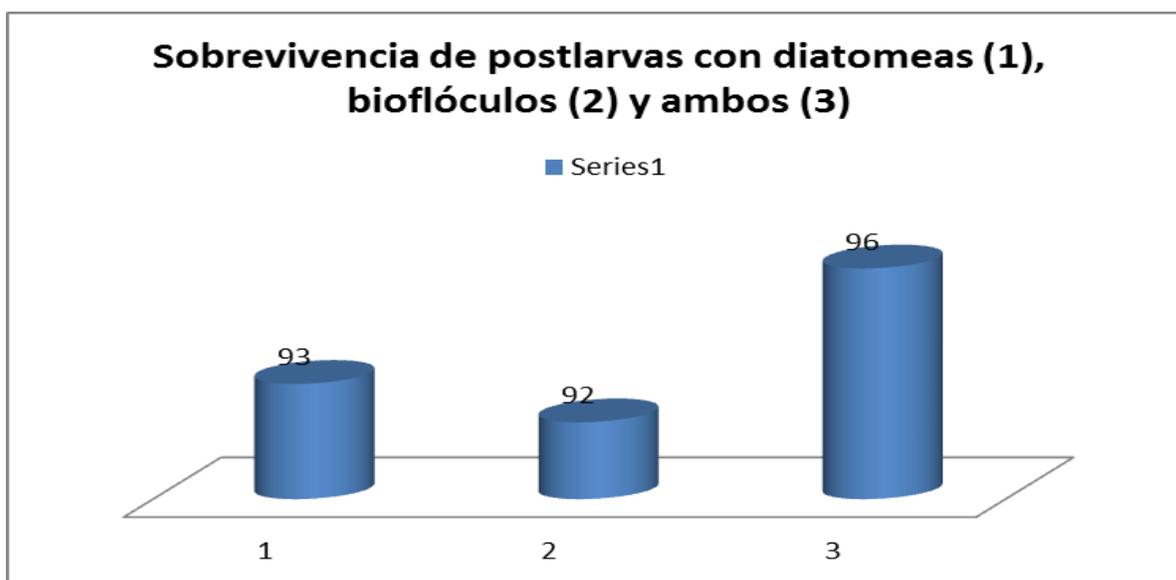


Figura 2. Sobrevivencia (%) de *L. vannamei* durante la maternización, utilizando diatomeas, bioflóculos y ambos.

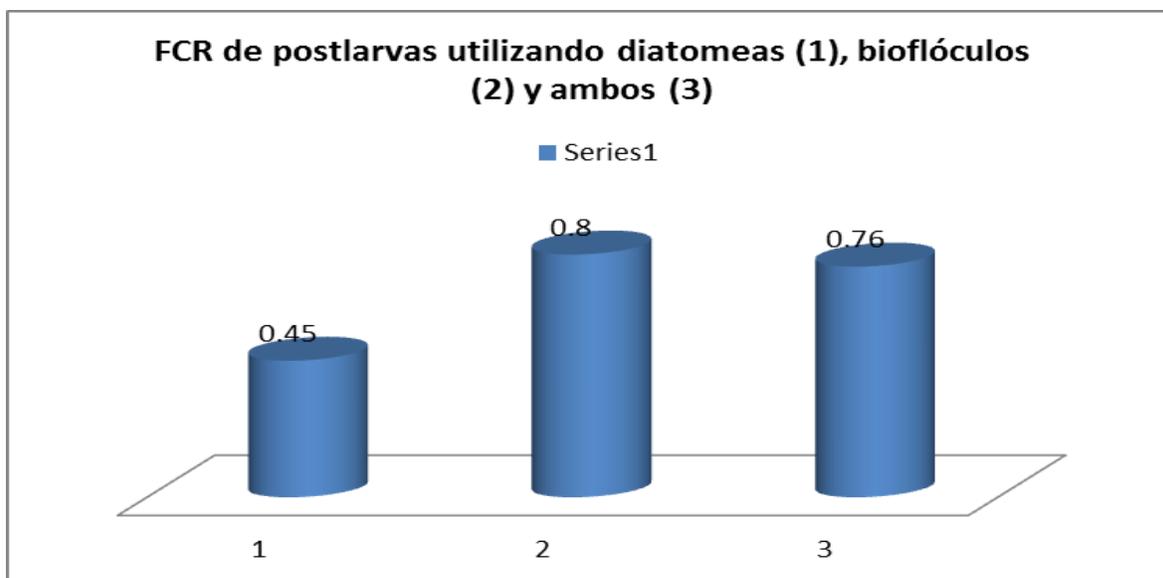


Figura 3. Factor de conversión alimenticia (FCR) de *L. vannamei* utilizando diatomeas, bioflóculos y ambos.

En una investigación similar, Ferreira-Marinho *et al.* (2015) evaluaron la adición de *Navícula* sp. sola o en combinación con alimento formulado, en el desempeño de postlarvas de camarón blanco, *L. vannamei*, encontrando que el crecimiento, la sobrevivencia, la biomasa final y el FCA fueron mejores en el tratamiento que combinó alimento formulado y microalgas, tal como se aprecia en las Figuras 4, 5 y 6 (datos tomados del documento mencionado).

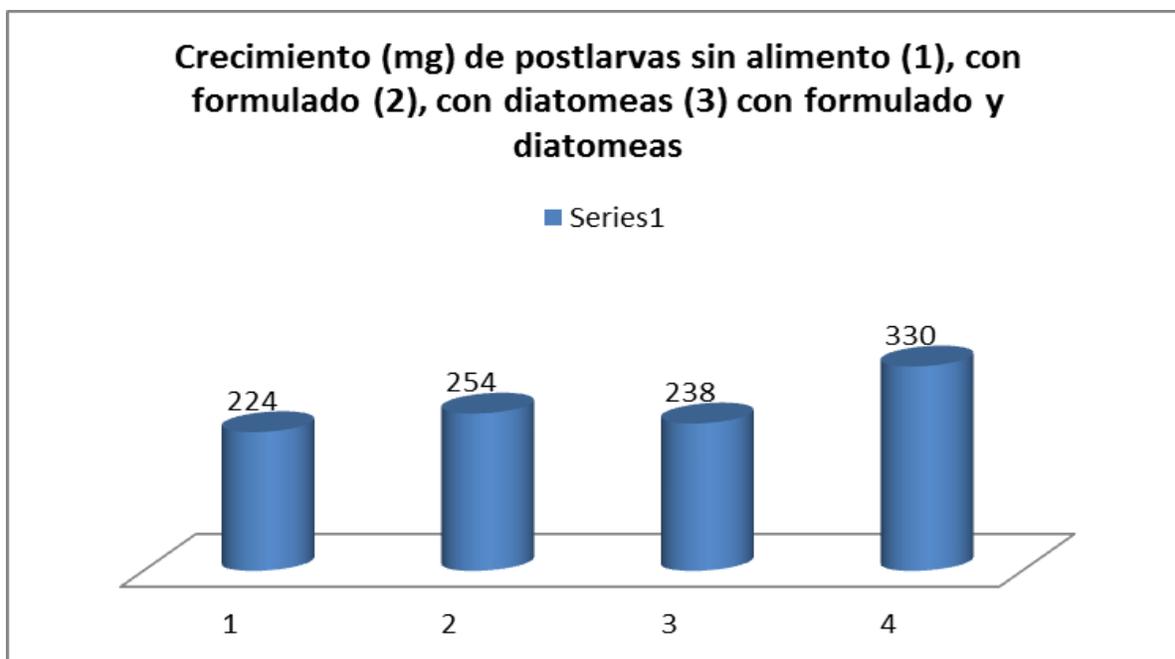


Figura 4 Crecimiento (mg) de postlarvas de *L. vannamei* con y sin alimento y/o diatomeas.

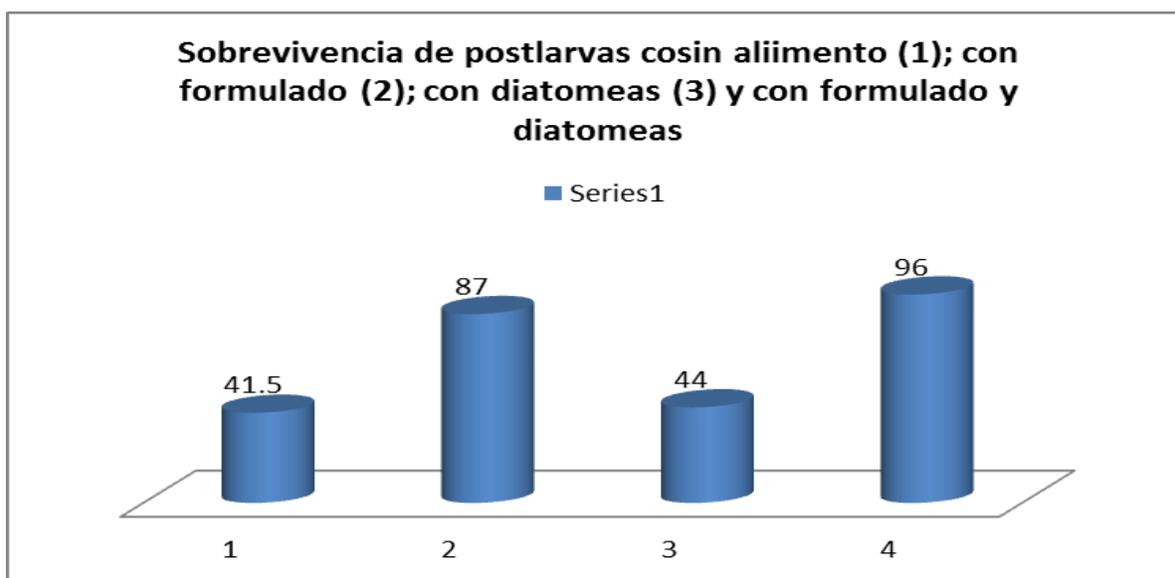


Figura 5. Sobrevivencia (%) de postlarvas de *L. vannamei* con y sin alimento y/o diatomeas.

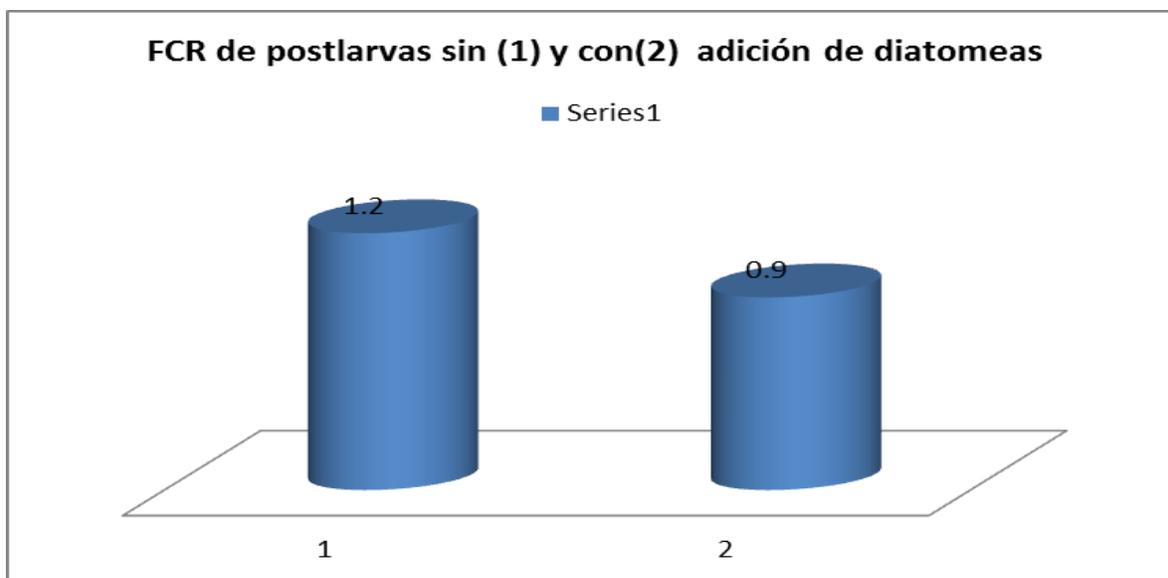


Figura 6. Factor de conversión alimenticia (FCR) de postlarvas de *L. vannamei* con y sin inclusión de diatomeas.

Como alimento vivo en forma de células inmobilizadas.

Las microalgas bentónicas tienen la capacidad de adherirse a sustratos fijos o flotantes, formando en el primer caso lo que se conoce como biopelículas o perifiton y en el segundo, lo que se denominan bioflóculos. También algunas microalgas que no son bentónicas, así como otra clase de microorganismos son capaces de asociarse a estos consorcios, una vez que los organismos iniciadores han formado una matriz a base de exopolímeros y otros componentes aglutinantes (Joyce and Utting, 2015).

La composición biológica de la comunidad perifítica puede ser muy variable y depende de muy diversos factores como: tipo de ambiente acuático, tipo de sustrato, condiciones ambientales, disponibilidad de nutrientes y de luz, entre muchos otros. A continuación (Figura 7) se presenta la composición por grupos de una comunidad de perifiton desarrollada en estanques de cultivo de camarón en Colombia (tomada de Caballero Ávila, 2013).

El valor nutricional y el uso de perifiton y biopelículas en la alimentación de organismos acuáticos, ha sido reportado desde hace tiempo en diversos estudios, tal como se muestra en la Tabla 3.

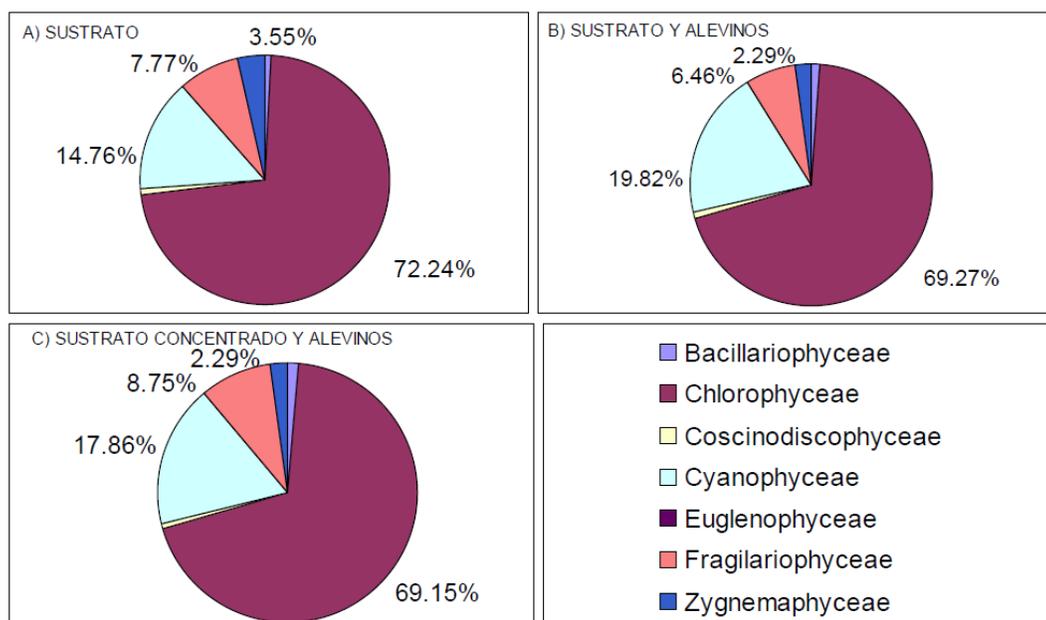


Figura 7. Composición porcentual de grupos de microalgas en el perifiton desarrollado en estanques de cultivo de camarón

Tabla 3. Composición química proximal de perifiton en diversos ambientes y condiciones

		Proteína (%) base seca	Lípidos (%) Base seca	Fuente
Perifiton	Cultivo tilapia en tanques	14 a 17	1.77 a 4.25.	Azim <i>et al.</i> 2003
Perifiton	Policultivo tilapia y un crómido.	35 a 41	13.5 a 15.5	Garg <i>et al.</i> 2007
Perifiton	Tanques de peces con sustratos	3.66 a 3.77 (base húmeda)		Gangadhara & Keshavanath (2008)
Perifiton	En varas de bambú	25.96±0.51	2.65±0.21	Anand <i>et al.</i> (2013)

Con respecto a la utilización de perifiton y biopelículas en la nutrición de organismos acuícolas, se tienen documentada varias experiencias exitosas.

Sakr *et al.* (2015) introdujeron perifiton desarrollado en palos de madera, a jaulas flotantes de cultivo de tilapia alimentadas con dietas bajas en proteína (25, 20 y 15 % de PC). Sus resultados mostraron que la dieta con menor nivel proteico, pero complementada con perifiton tuvo la mejor respuesta productiva y fue la mejor en cuanto a costo/beneficio. La composición bioquímica de los camarones no presentó diferencias significativas.

Gangadhar *et al.* (2012) utilizaron bagazo de caña de azúcar para promover el desarrollo del perifiton en el cultivo de carpa de la india, *Labeo rohita* y aunque no encontraron diferencias significativas en la densidad de perifiton, la respuesta productiva de los peces, en términos de biomasa final fue mejor en un 60, 129, 123 y 119 % en los tratamientos en que se usaron 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 toneladas por hectárea de bagazo, respectivamente.

Asaduzzaman *et al.* (2009) investigaron el efecto de la adición de tilapia y sustratos para la formación de perifiton, en la ecología de estanques y en la respuesta productiva de *Macrobranchium rosenbergii*. Los resultados indicaron que la inclusión de tilapia disminuyó la biomasa de perifiton, mientras que los sustratos la aumentaron. La presencia de tilapia disminuyó el FCA en un 14 %, mientras que los sustratos artificiales, lo hicieron en un 16 %, al mismo tiempo que aumentaron la sobrevivencia de los langostinos de 54 a 77 %.

Viau *et al.* (2012) evaluaron la contribución de biopelículas (formadas mayormente por microalgas) en la calidad del agua y la respuesta productiva de la langosta de agua dulce, *Cherax quadricarinatus*, encontrado que en el tratamiento que combinó biopelículas con alimento formulado se obtuvieron mejores crecimientos y sobrevivencias que en aquellos que solo usaron alimento o solo biopelículas (Figuras 8, 9 y 10; datos tomados de

los mencionados autores). Se observó además un efecto muy positivo en la calidad del agua.

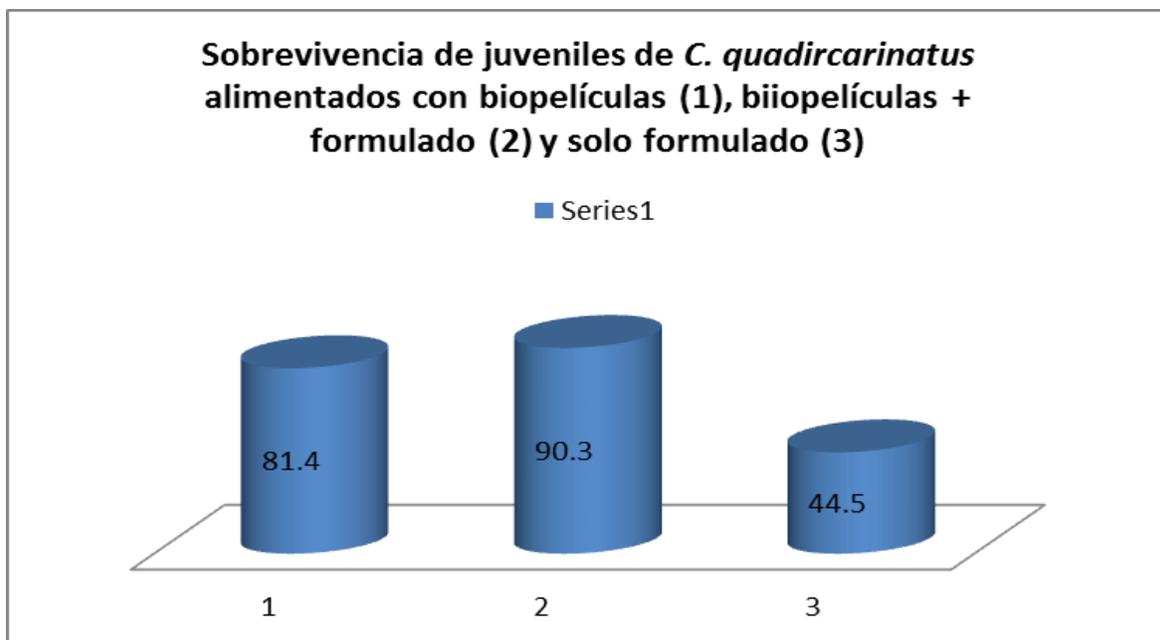


Figura 8. Sobrevivencia (%) de juveniles de *Cherax quadricarinatus* alimentados con biopelículas, alimento formulado y ambos.

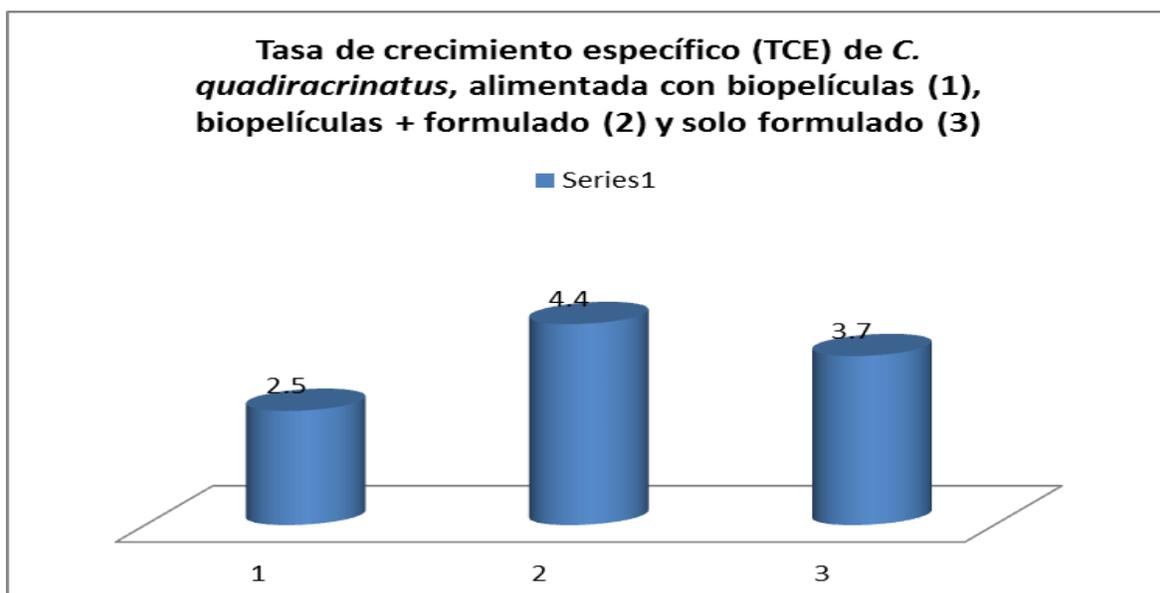


Figura 9. Tasa de crecimiento específico (%/día) de juveniles de *Cherax quadricarinatus* alimentados con biopelículas, alimento formulado y ambos.

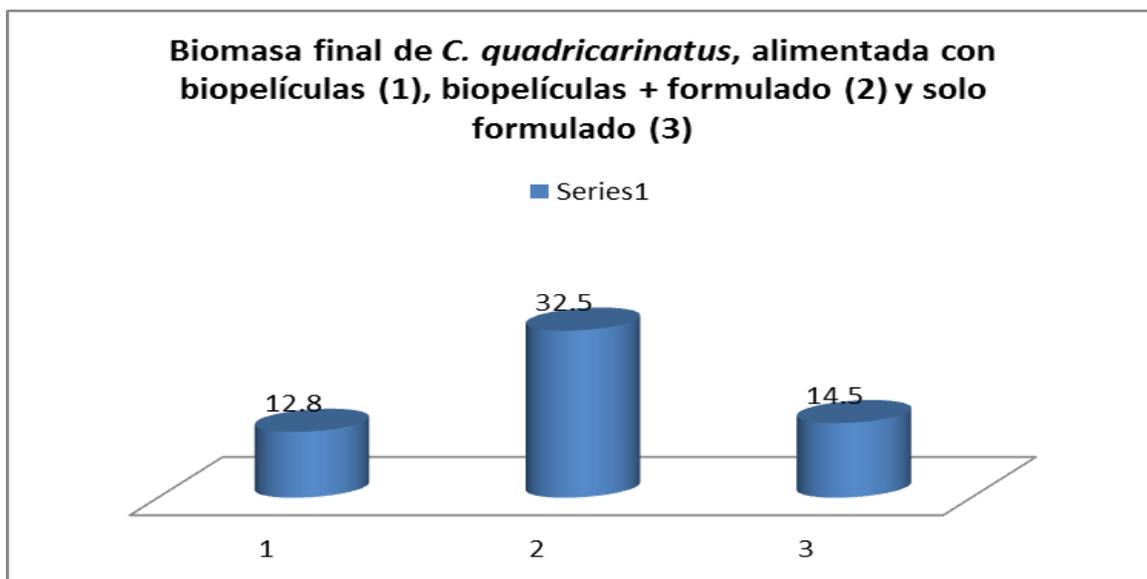


Figura 10. Biomasa final (g/m²) de juveniles de *Cherax quadricarinatus*, alimentados con biopelículas, alimento formulado y ambos.

Como alimento inerte en dietas

El uso de las microalgas como ingrediente dietario de humanos data ya de algún tiempo atrás. La Spirulina por ejemplo se ha usado para consumo en muy diversas formas; en principio como complemento nutricional debido a su alto contenido de proteínas, lípidos, ácidos grasos y aminoácidos esenciales. Posteriormente ha despertado el interés por sus posibles propiedades terapéuticas y beneficios potenciales a la salud humana (Belay *et al.* 1993). Spirulina ha sido también exitosamente utilizada como ingrediente en dietas de organismos acuáticos. Kim *et al.* (2015) probaron la efectividad de la inclusión dietaria de *Spirulina pacifica* en la respuesta inmune y la resistencia al patógeno *Edwardsiella tarda*, por parte del lenguado *Paralichthys olivaceus*.

Anand *et al.* (2013; 2015) suministraron perifiton desarrollado en varas de bambú como ingrediente (0, 3, 6 y 9 %) en dietas para el camarón tigre *Penaeus monodon* cultivado y encontraron un efecto muy positivo en el crecimiento, FCA, tasa de eficiencia

proteica y actividad enzimática digestiva. Adicionalmente en un control positivo en el que no utilizaron el perifiton como ingrediente pero utilizaron las varas de bambú para su desarrollo en las unidades de cultivo, encontraron una mejora significativa en la calidad del agua, especialmente una disminución en la concentración de nitritos y fosfatos.

Sprague *et al.* (2015) sustituyeron parcialmente el aceite de pescado por una harina de la microalga *Schizochytrium* sp, rica en DHA que fue incluida en un 5.5 y un 11 % en la dieta de salmones cultivados. Aunque los parámetros de producción fueron ligeramente menores en las dietas experimentales, ellos concluyen que los resultados son importantes por la posibilidad de sustituir el aceite de pescado y sus consecuencias negativas como la cantidad de toxinas presentes en el mismo.

Kupchinsky *et al.* (2015) evaluaron dietas con diferentes niveles de inclusión (0, 10, 20 y 40 %) de harina de *Chlorella* sp., para alimentar bagres (*Ictalurus punctatus*) en cultivo, sin que se encontraran diferencias significativas en cuanto a la sobrevivencia y composición proximal de los peces; sin embargo un mayor consumo de alimento, una mayor ganancia en peso y un mejor FCA fueron observados en los peces alimentados con las dietas conteniendo 10 y 40 % de harina de la microalga.

Das *et al.* (2015) incluyeron harina destoxificada de las microalgas *Nannochloropsis* sp y *Tetrasemis* sp. en la dieta para cultivar carpa dorada (*Carassius auratus*) en un sistema abierto, encontrando una mejor tasa de crecimiento con la inclusión de la segunda al compararla con la primera y con la dieta comercial.

Medina-Felix *et al.* (2014) probaron la efectividad de la inclusión dietaria de harina de *Dunaliella* sp. la cual tenía altos contenidos de carotenos (propiciados por deficiencia de nitrógeno en el medio), en la alimentación del camarón blanco, *L. vannamei* infectado con WSSV, pudiéndose comprobar que dicha inclusión mejoró la respuesta fisiológica de los camarones, lo que se tradujo en una mejor sobrevivencia y mayor crecimiento en comparación de los camarones alimentados con una dieta comercial.

Conclusiones

1. El valor nutricional y la contribución de las microalgas en la nutrición de organismos acuícolas está suficientemente bien documentada.
2. Aunque hay avances en el manejo de biopelículas basados mayormente en microalgas (perifiton), todavía queda mucho por investigar.
3. El uso de microalgas particulares o perifiton inespecífico como ingrediente dietario para organismos bajo condiciones de cultivo, es un asunto muy promisorio.
4. El efecto de las microalgas en el mejoramiento de la condición fisiológica y el estado inmune de los organismos acuícolas es en general muy positivo.

Referencias

- Anand, P. S., Kohli, M. P. S., Roy, S. D., Sundaray, J. K., Kumar, S., Sinha, A., & Kumar Sukham, M. 2013. Effect of dietary supplementation of periphyton on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 392:59-68.
- Anand, P. S. S., Kohli, M. P., Dam Roy, S., Sundaray, J. K., Kumar, S., Sinha, A., & Pailan, G. H. 2015. Effect of dietary supplementation of periphyton on growth, immune response and metabolic enzyme activities in *Penaeus monodon*. *Aquaculture Research*, 46:2277-2288.
- Asaduzzaman, M., Wahab, M. A., Verdegem, M. C. J., Benerjee, S., Akter, T., Hasan, M. M., & Azim, M. E. 2009. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. *Aquaculture*, 287:371-380.
- Becker, W. 2004. In Handbook of Microalgal culture. Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Publishing, EUA. 566 p.
- Belay, A., Ota, Y., Miyakawa, K., & Shimamatsu, H. 1993. Current knowledge on potential health benefits of Spirulina. *Journal of applied Phycology*, 5:235-241.
- Brown, M.R. 2003. Nutritional value of microalgae for aquaculture. In: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.
- Gangadhar, B., & Keshavanath, P. 2012. Growth performance of rohu, *Labeo rohita* (Ham.) in tanks provided with different levels of sugarcane bagasse as periphyton substrate. *Indian Journal of Fisheries*, 59:77-82.
- Gireesh, R. 2009. Proximate composition, chlorophyll a, and carotenoid content in *Dunaliella salina* (Dunal) Teod (Chlorophyceae: Dunaliellaceae) cultured with cost-effective seaweed liquid fertilizer medium. *Turkish Journal of Botany*, 33:21-26.
- Godoy, L. C., Odebrecht, C., Ballester, E., Martins, T. G., & Wasielesky Jr, W. 2012. Effect of diatom supplementation during the nursery rearing of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in a heterotrophic culture system. *Aquaculture international*, 20:559-569.
- Guil-Guerrero, J. L., & Reboloso-Fuentes, M. M. 2008. Nutrient composition of *Chlorella* spp. and *Monodus subterraneus* cultured in a bubble column bioreactor. *Food Biotechnology*, 22:218-233.
- Graziani, G., Schiavo, S., Nicolai, M. A., Buono, S., Fogliano, V., Pinto, G., & Pollio, A. 2013. Microalgae as human food: chemical and nutritional characteristics of the thermo-acidophilic microalga *Galdieria sulphuraria*. *Food & Function*, 4, 144-152.
- Joyce, A., & Utting, S. 2015. The role of exopolymers in hatcheries: an overlooked factor in hatchery hygiene and feed quality. *Aquaculture*, 446:122-131.
- Emerenciano, M. et al. 2015. Recent Advances in Aquaculture Systems Based on Microorganisms: The Biofloc Technology (Bft) Case. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Rivas Vega, M. y Miranda Baeza, A. (Eds), Nutrición Acuícola: Investigación y Desarrollo, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, ISBN 978-607-27-0593-7, pp. 62-81.

- Kim, S. S., Shin, S. J., Han, H. S., Kim, J. D., & Lee, K. J. 2015. Effects of Dietary *Spirulina pacifica* on Innate Immunity and Disease Resistance against *Edwardsiella tarda* in Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 67. First online.
- Kupchinsky, Z.A., Coyle, S.D., Bright, L.A., and Tidwell, J.H. 2015. Evaluation of Heterotrophic Algae Meal as a Diet Ingredient for Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society, 46. First published online, doi: 10.1111/jwas.12200.
- Li, H. B., Cheng, K. W., Wong, C. C., Fan, K. W., Chen, F., & Jiang, Y. 2007. Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. Food Chemistry, 102:771-776.
- López-Elías, J. A., Voltolina, D., Nieves-Soto, M. y Figueroa-Ortiz, L. 2004. Producción y Composición de Microalgas en Laboratorios Comerciales del Noroeste de México. In: Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U. y González, M. Avances en Nutrición Acuicola VI I. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 16-19 Noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, México.
- Martínez-Córdova, L. R., Campaña-Torres, A., Martínez-Porchas, M., López-Elías, J. A., & García-Sifuentes, C. O. 2012. Effect of alternative mediums on production and proximate composition of the microalgae *Chaetoceros muelleri* as food in culture of the copepod *Acartia* sp. Latin American Journal of Aquatic Research, 40: 169-176.
- Pacheco-Vega, J. M., & Sánchez-Saavedra, M. 2009. The biochemical composition of *Chaetoceros muelleri* (Lemmermann Grown) with an agricultural fertilizer. Journal of the World Aquaculture Society, 40:556-560.
- Pereira, H., Custódio, L., Rodrigues, M. J., de Sousa, C. B., Oliveira, M., Barreira, L., and Varela, J. 2015. Biological Activities and Chemical Composition of Methanolic Extracts of Selected Autochthonous Microalgae Strains from the Red Sea. Marine Drugs, 13:3531-3549.
- Roy, S. S., & Pal, R. 2014. Microalgae in Aquaculture: A Review with Special References to Nutritional Value and Fish Dietetics. In Proceedings of the Zoological Society (Vol. 68, No. 1, pp. 1-8). Springer India.
- Sakr, E. M., Shalaby, S. M., Wassef, E. A., El-Sayed, A. F. M., & Moneim, A. I. A. 2015. Evaluation of Periphyton as a Food Source for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Juveniles Fed Reduced Protein Levels in Cages. Journal of Applied Aquaculture, 27:50-60.
- Samarakoon, K. W., Ko, J. Y., Rahman, S. M., Lee, J. H., Kang, M. C., Kwon, O. N., ... & Jeon, Y. J. 2013. In vitro studies of anti-inflammatory and anticancer activities of organic solvent extracts from cultured marine microalgae. Algae, 28, 111-119.
- Sassano, C. E. N., Gioielli, L. A., Ferreira, L. S., Rodrigues, M. S., Sato, S., Converti, A., & Carvalho, J. C. M. 2010. Evaluation of the composition of continuously-cultivated *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* using ammonium chloride as nitrogen source. biomass and bioenergy, 34:1732-1738.

- Sprague, M., Walton, J., Campbell, P. J., Strachan, F., Dick, J. R., & Bell, J. G. 2015. Replacement of fish oil with a DHA-rich algal meal derived from *Schizochytrium* sp. on the fatty acid and persistent organic pollutant levels in diets and flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) post-smolts. *Food Chemistry*, 185:413-421.
- Tibbetts, S.M., Milley, J.E., and Lall, S.P. 2015. Chemical composition and nutritional properties of freshwater and marine microalgal biomass cultured in photobioreactors. *Journal of Applied Phycology*, 27:1109–1119.
- Viau, V. E., Ostera, J. M., Tolivia, A., Ballester, E. L., Abreu, P. C., & Rodríguez, E. M. 2012. Contribution of biofilm to water quality, survival and growth of juveniles of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae). *Aquaculture*, 324:70-78.
- Yadavalli, R., Rao, C.S., Ramgopal, S. R. and Ravichandra, P. 2014. Dairy effluent treatment and lipids production by *Chlorella pyrenoidosa* and *Euglena gracilis*: study on open and closed systems. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*; 9: 368–373.