

USO DE MICROORGANISMOS EN EL CULTIVO DE CRUSTÁCEOS

USE OF MICROORGANISMS IN CRUSTACEAN CULTURE

Luis Rafael Martínez Córdova¹, Marcel Martínez Porchas^{2*}, José Antonio López Elías¹ y Luis Fernando Enríquez Ocaña¹

¹ DICTUS, Universidad de Sonora. Blvd Luis Donaldo Colosio s/n, entre Reforma y Sahuaripa, Hermosillo, Sonora, 83000, México.

² CIAD, Km. 0.5 Carretera a La Victoria, Hermosillo, Sonora, México.

RESUMEN

El presente documento es una revisión actualizada sobre el uso de microorganismos en acuicultura que incluye experiencias internacionales, nacionales, regionales e institucionales sobre el tema. Los microorganismos han sido ampliamente utilizados desde hace siglos en diversos procesos para la preparación y procesamiento de diversos alimentos (pan, queso, vino, cerveza, etcétera). Sus usos en acuicultura son relativamente recientes y han sido mayormente utilizados como prebióticos o probióticos para mejorar la calidad del ambiente de cultivo, así como la condición fisiológica, nutricional y sanitaria de los organismos cultivados. Recientemente se les ha encontrado aplicación práctica e importante como biomasa directa para alimentar a camarones y peces bajo condiciones de cultivo. En la revisión fueron destacados aspectos, como la composición nutricional de diversos microorganismos autotróficos y heterotróficos, las estrategias para su manejo y las experiencias de su uso en la acuicultura de diversas especies.

Palabras clave: Acuicultura, bioflóculos, biopelículas, consorcios microbianos, bioremediación.

ABSTRACT

The present document is an updated review on the use of microorganisms in aquaculture, including international, national, regional and institutional experiences around this field. The microorganisms have been used along many centuries up today for the manufacturing and processing of diverse foods (bread, cheese, wine, beer, etcetera). Their use in aquaculture is relatively recent being mostly employed as prebiotics and probiotics to improve the environmental quality as well as the physiological, nutritional, and sanitary condition of farmed organisms. Recently microorganisms have been considered to have an important practice application as direct biomass to feed shrimp and fish under farming conditions. This review highlights aspects such as the nutritional composition of diverse autotrophic and heterotrophic microorganisms, the strategies for their management and the experiences on their use for diverse farmed species.

Key words: Aquaculture, biofloc, biofilm, bioremediation, microbial consortia.

INTRODUCCIÓN

Se conocen genéricamente como microorganismos a todos aquellos seres vivos que por su pequeño tamaño no pueden ser observados a simple vista y se requiere de instrumentos especiales para ello. Dentro de este gran grupo de organismos pueden ser encontrados los de características autótrofas o heterótrofas, de diversos grupos taxonómicos, tanto procariontes eucariontes unicelulares y pluricelulares.

Los microorganismos tienen gran importancia tanto ecológica como económica. Desde el punto de vista ecológico, representan el más numeroso y versátil grupo de organismos en cualquier ambiente terrestre o acuático (Horowitz y Horowitz, 2002); el rol que juegan es fundamental como productores y consumidores de oxígeno disuelto (OD), como degradadores de la materia orgánica además del reciclamiento de nutrientes a través de los diferentes ciclos biogeoquímicos (Rivkin y Legendre, 2001; Cotner y Biddanda, 2001, 2002), así como fuente alimenticia de organismos mayores, constituyendo la base de la cadena trófica de muchos ecosistemas (Cotner *et al.* 2000; Biddanda *et al.* 2001). A pesar de su tamaño pequeño, se multiplican tan rápidamente que llegan a constituir biomásas muy importantes; además, tienen la ventaja de que utilizan casi cualquier compuesto orgánico como sustrato para desarrollarse exitosamente (Amon y Benner, 1996).

Con respecto a la importancia económica, los microorganismos han sido utilizados desde hace siglos en la elaboración y procesamiento de diversos alimentos tales como el pan, el queso, el vino y la cerveza, entre otros. Actualmente están siendo objeto de atención para su uso en acuicultura tanto en la biorremediación de efluentes, como para su consumo directo por parte de los organismos en cultivo. El uso de microorganismos como fuente de alimento directo es de gran relevancia, ya que desde hace décadas la fuente universal de alimento vivo para peces y crustáceos ha sido el uso de microalgas, rotíferos, artemia, etcétera. El objetivo de este trabajo es hacer una revisión actualizada del uso de microorganismos en la acuicultura de crustáceos, particularmente como agentes de biorremediación y fuente de alimento.

*Autor para correspondencia: Marcel Martínez Porchas
Correo electrónico: marcel@ciad.mx

Recibido: 06 de junio de 2014

Aceptado: 26 de septiembre de 2014

MICROORGANISMOS EN LA BIORREMEDIACIÓN

Existe evidencia que indica que del nitrógeno incorporado en forma de alimento a un sistema camaronícola abierto, solamente el 22% es convertido a biomasa, el 14% se incorpora al sedimento, el 3% se pierde por volatilización, mientras que el resto es arrojado en los efluentes a diversos tipos de ambientes (Jackson *et al.* 2003).

Las capacidades de los microorganismos para degradar eficientemente materia orgánica bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas (bacterias autótrofas y/o heterótrofas), así como para remover de manera efectiva compuestos nitrogenados y fósforo (microalgas), metales, hidrocarburos y otros componentes que pudieran resultar perjudiciales para los ecosistemas receptores de los efluentes, para las especies cultivadas y para el hombre mismo, han sido aprovechadas para su utilización como biorremediadores de efluentes municipales, agroindustriales y acuícolas. Está suficientemente documentado el uso de microalgas para el tratamiento de efluentes y de otros tipos de descargas de aguas residuales vertidas por el hombre (Hoffmann, 2002), así como también para la remoción de metales pesados (Wilde y Benemann, 1993). Las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus dimorphus* han sido exitosamente probadas para el tratamiento de efluentes agroindustriales (González *et al.*, 1997).

En muchas empresas acuícolas es común el uso de biofiltros para la biorremediación y reuso de los efluentes. Estos biofiltros están normalmente basados en el uso de bacterias nitrificantes adheridas en diferentes tipos de sustratos, las cuales transforman nitrógeno amoniacal que es tóxico para peces y camarones, en nitratos, los cuales son inocuos a concentraciones relativamente altas (Yamashita *et al.* 2011). Alternativamente se han utilizado también consorcios microbianos asociados a biopelículas o bioflóculos para el tratamiento de efluentes acuícolas (Samocha *et al.*, 2007; Sánchez *et al.* 2013). Martínez-Cordova *et al.* (2011) utilizaron moluscos y microalgas bentónicas para la biorremediación de efluentes camaronícolas, los cuales pudieron posteriormente ser reutilizados en el cultivo de camarón, sin ningún problema aparente.

Bacterias autótrofas

La biorremediación de efluentes se puede llevar a cabo tanto en condiciones aeróbicas como en anaeróbicas. Sin embargo, en sistemas acuícolas abiertos las condiciones deben ser forzosamente aeróbicas.

Bajo condiciones aeróbicas, algunas bacterias pueden llevar a cabo lo que se conoce como nitrificación biológica. Bacterias quimio-autótrofas y arqueas, transforman el amonio a nitritos por la vía de la hidroxilamina. Éstos microorganismos pertenecen a los grupos de las β - y γ -Proteobacterias y utilizan CO_2 como fuente de carbono (Koops y Pommerening-Roser, 2001). Posteriormente, entran en acción bacterias nitrificantes o bacterias oxidantes de nitritos, las cuales transforman los nitritos a nitratos, que como ya se mencionó es un compuesto menos tóxico para peces y crustáceos. Estas bacterias pertenecen al grupo de

las α - y γ -Proteobacterias, filo *Nitrospirae* (Fiencke *et al.*, 2005; Chávez-Crooker y Obreque-Contreras, 2010).

Bacterias heterótrofas

Aunque se considera que las bacterias con mayor capacidad de bioremediación son especies de bacterias autótrofas, existen bacterias heterótrofas que pueden en cierto modo actuar como bioremediadoras. Estas bacterias no utilizan mecanismos de oxidación como es el caso de las bacterias autótrofas; sino que se ha reportado que cianobacterias (*Microcoleus chthonoplastes*, *Spirulina* sp., *Oscillatoria* sp., *Schizothrix* sp., *Calothrix* sp., *Phormidium* sp., etcétera) pueden transformar el nitrógeno amoniacal en compuestos con toxicidad baja; incluso algunas de ellas transforman el nitrógeno amoniacal en biomasa microbiana (Paniagua-Michel y García, 2003; Ebeling *et al.*, 2006). Además, algunas de estas bacterias son capaces de descomponer y asimilar desechos orgánicos tales como alimento no consumido, heces y organismos muertos.

Por lo anterior, diversos investigadores han sugerido que la inducción de microorganismos heterótrofos, en combinación con protocolos adecuados de aireación puede traer beneficios grandes a los sistemas de cultivo; no solamente desde el punto de vista de rentabilidad, sino en general también de sustentabilidad (Avnimelech, 2009; Martínez-Córdova *et al.*, 2011). Para lograr lo anterior, se sugiere, mantener la relación de carbono-nitrógeno de 15:1 o 20:1. Por último, la presencia de este tipo de bacterias en un medio de cultivo usualmente promueven el reciclamiento de nutrientes que de manera usual al ser degradados formarían compuestos tóxicos o zonas anóxicas dentro del sistema.

Microalgas

Diversos reportes indican que aun después de décadas de investigación, las microalgas representan un recurso prácticamente sin explotar, con más de 25,000 especies, de las cuales sólo alrededor de 20 están en uso a nivel comercial (Raja *et al.*, 2008). En acuicultura, el uso de microalgas es común, específicamente como fuente de alimento natural para el cultivo de muchos organismos en fases larvarias o en sus fases adultas, como es el caso de muchos de los bivalvos.

La fitoremediación es un proceso de bio-remediación "amigable" con el medio, por medio del cual algunos contaminantes/nutrientes de la columna de agua son removidos por plantas, lo que representa no solamente un ahorro de energía, sino un sistema de recuperación de recursos (Kwon *et al.*, 2013).

La mayor parte de la investigación en fitoremediación se ha enfocado en el uso de macroalgas, mientras que el uso de microalgas ha tenido menos atención (Hemaiswarya *et al.*, 2011). Lo anterior representa una situación controversial, debido a que las microalgas han mostrado un inmenso potencial como biorremediadores de metales pesados, colorantes industriales, gases tóxicos, petroquímicos, entre otros (Doshi *et al.*, 2007; Lim *et al.*, 2010; Chiu *et al.*, 2011). Además, algunas especies han mostrado potencial para ser considera-

das en la bioremediación de efluentes acuícolas (Blackburn, 2004; Hemaiswarya *et al.*, 2011).

Como ya se mencionó, los consorcios microbianos pueden oxidar el amonio a compuestos menos tóxicos; mientras que las microalgas pueden convertir fotosintéticamente nutrientes inorgánicos (NH_3 - NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 , CO_2) en "paquetes de nutrientes" (Neori *et al.*, 2004). Sin embargo, este tipo de estrategias debe ser cuidadosamente estudiado antes de ser implementado a escala industrial, debido a las necesidades de oxígeno de las microalgas, las características de los efluentes, al uso de especies adecuadas y endémicas, entre otros aspectos de bioseguridad.

MICROORGANISMOS PARA NUTRICIÓN ACUÍCOLA

Los microorganismos, especialmente las microalgas han sido utilizadas desde hace ya varias décadas para la nutrición larvaria de diversas especies, sobre todo de camarones y peces (Brown, 2002). Sin embargo, su uso en las etapas postlarvales (maternización, preengorda y engorda) es más reciente y mucho menos común. Diversos microorganismos han sido utilizados desde hace unos pocos años, mayormente como prebióticos y probióticos para mejorar tanto ambiente de cultivo (específicamente la calidad del agua y sedimento), como la condición nutricional, sanitaria e inmune de diversas especies cultivadas.

Como probióticos los microorganismos actúan de diferentes maneras para beneficiar al hospedero: a) por exclusión competitiva de microorganismos patógenos en el tracto digestivo; b) induciendo una respuesta inmune que luego puede ser efectiva contra organismos patógenos y c) aportando enzimas exógenas que coadyuvan a la digestión de los alimentos ingeridos por el hospedero (Balcazar *et al.*, 2006). Diversos microorganismos han sido evaluados y probados con diferente grado de éxito como probióticos para especies cultivadas, destacando levaduras (Gatesoupe, 2007), microlagas (Gómez-Gil *et al.*, 2002), bacterias ácido-lácticas (Lara-Flores *et al.*, 2003; Campa-Córdova, 2011), bacterias del género *Vibrio* (Alavandi, 2004), y varias otras bacterias de diferentes grupos (Das *et al.*, 2008). La efectividad, particularmente la relación costo-eficiencia de probióticos comerciales ha sido muy cuestionada y hay diversos autores que afirman que la eficiencia no justifica el costo; aunque ésta relación se encuentra en función del método de producción y tipo de probiótico utilizado (Balcazar *et al.*, 2006). Los principales problemas se deben al origen de los probióticos que puede ser muy diferente a las condiciones en las que van a ser aplicados. Es por ello que ha sido sugerido utilizar microorganismos inespecíficos aislados de sitios similares al lugar en donde se van a utilizar. Los métodos para seleccionar microorganismos probióticos deben incluir los siguientes pasos: a) obtención de información relacionada al uso de probióticos, b) adquisición de candidatos potenciales a ser utilizados como probióticos, c) evaluación de la habilidad de los probióticos experimentales para competir con cepas patogénicas, d) evaluación de la posible patogenicidad de los probióticos experimentales, e) evaluación de los efectos de

los probióticos en el hospedero y c) evaluación de la relación costo/beneficio (Gomez-Gil *et al.*, 2000).

Desde hace algunos años se ha venido probando con éxito la promoción y utilización de microorganismos como fuente directa de alimentación para camarones y peces bajo condiciones de cultivo (Avnimelech, 1999). Los camarones y algunos pocos peces no son eficientes en la captura y utilización de microorganismos directamente de la columna de agua, pero si pueden hacerlo cuando están asociados a superficies fijas (mallas, telas, palos, piedras, etcétera) o flotantes (partículas suspendidas diversas). A estas asociaciones se les conoce como biopelículas y bioflóculos, respectivamente. Una biopelícula es un consorcio de microorganismos (bacterias, cianobacterias, microalgas, hongos y otros), asociados a una superficie fija sumergida. El concepto de bioflóculo es básicamente el mismo solo que en este caso los microorganismos están asociados a superficies flotantes (Martínez-Córdova *et al.*, 2014).

El valor nutricional de estos consorcios microbianos ha sido ampliamente documentado. López Tarín (2011) llevo a cabo un cultivo de tilapia en un sistema cerrado, sustituyendo parcialmente el alimento formulado con bioflóculos y encontró que la composición de los mismos presentó niveles aceptables de proteínas y lípidos (Tabla 1). Maicá *et al.* (2012) reportaron valores de proteína de 28,7 a 43,1% y de lípidos entre 2,11 y 3,62% en bioflóculos utilizados para cultivar *L. vannamei*; mientras que Azim y Little (2008) encontraron niveles de 38% para proteína y entre 3,16 y 3,23% para lípidos en bioflóculos utilizados en un cultivo de tilapia. Para el caso de las biopelículas y perifiton, Mridula *et al.* (2003) evaluaron la composición proximal biopelículas adheridas a sustratos como bagazo y paja de arroz en un cultivo de carpa (*Labeo fimbriatus*), encontrando alrededor de 10% de proteína cruda en ambos consorcios microbianos y alrededor de 1% de lípidos; los autores reportaron que el uso de éstos sustratos biodegradables promovían la formación de consorcios microbianos lo cual tuvo un efecto positivo sobre los parámetros de producción de la carpa. Azim *et al.* (2008),

Tabla 1. Composición proximal de bioflóculos (F) utilizados con diferentes proporciones de alimento formulado (A) en el cultivo de tilapia.

Table 1. Proximate composition of bioflocs (F) used with different proportions of formulated feed (A) in tilapia culture.

Tratamientos	Proteína cruda	Carbohidratos	Cenizas
100% A + F	30,65 ±4,36	14,54±2,85	45,28±2,23
85% A + F	28,19±5,17	15,93±3,23	51,06±5,22
70% A + F	30,47±2,76	15,60±2,14	47,06±8,27
55% A + F	29,76±3,50	16,07±2,58	44,06±5,79

reportaron valores mayores de proteína (14–17%) y lípidos (1,77–4,25%) en el perifiton formado en un cultivo de tilapia. Estudios más específicos han revelado que los bioflocs y biopelículas utilizadas como alimento en acuicultura presentan cantidades considerables de aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales y perfiles de vitaminas usualmente adecuados para peces y crustáceos (Ekasari *et al.* 2014; Martínez-Córdova *et al.* 2014).

Experiencias diversas a nivel mundial, nacional, regional e institucional, muestran el potencial que tiene el uso de sistemas acuiculturales basados en microorganismos como fuente primaria de alimentación. Asaduzzaman *et al.* (2010) evaluaron un policultivo de langostino *Macrobrachium rosenbergii* con tilapia o con carpa de la India en un sistema basado en biopelículas (perifiton) usando diferentes fuentes de carbono orgánico; los autores encontraron que la producción de langostino no se vio afectada por la presencia de los peces a cualquiera de las densidades evaluadas, y que la producción total del sistema fue más alta cuando se utilizó tilapia. Emerenciano *et al.* (2012) evaluaron exitosamente la tecnología de bioflocs en la alimentación de postlarvas del camarón *Farfantepenaeus brasiliensis* en un sistema de bajo recambio de agua. En el ámbito nacional, Audelo-Naranjo *et al.* (2010, 2011) utilizaron biopelículas asociadas a sustratos artificiales para el cultivo superintensivo de *L. vannamei*, encontrando parámetros de producción mucho mejores en comparación con sistemas en donde no se utilizaron estos consorcios. En el ámbito regional e institucional, Becerra-Dorame *et al.* (2011, 2012) evaluaron sistemas basados en microorganismos autótrofos y heterótrofos para la maternización y preengorda de *L. vannamei*, encontrando en ambos casos una excelente respuesta productiva y constatando además la posibilidad de sustituir el uso de *Artemia* en la maternización de esta especie.

Una exhaustiva revisión sobre el uso de sistemas basados en microorganismos para el cultivo de camarones y peces ha sido recientemente publicada por Martínez-Córdova *et al.* (2014). Finalmente, la aparición de técnicas nuevas de secuenciación de siguiente generación (next generation sequencing), permitirá profundizar en el estudio de microorganismos con potencial para utilizar en acuicultura, ya que será posible realizar estudios de meta genómica en consorcios microbianos, secuenciación de genomas completos de microorganismos, identificación de genes de interés, entre otras aproximaciones.

CONCLUSIONES

La diversidad de microorganismos en el medio acuático representa un indiscutible recurso por medio del cual la acuicultura podría llegar a ser una empresa sustentable.

El potencial uso de microorganismos en acuicultura se puede dividir en dos grandes áreas: nutrición y biorremediación.

Existe información documentada sobre el valor nutritivo de bioflocos y biopelículas para organismos bajo condiciones de cultivo.

Las diversas experiencias internacionales, regionales e institucionales sobre el uso de sistemas basados en microorganismos son promisorias.

LITERATURA CITADA

- Alavandi, S.V., Vijayan, K.K., Santiago, T.C., Poornima, M., Jithendran, K.P., Ali, S.A. y Rajan, J.J.S., 2004. Evaluation of *Pseudomonas* sp. PM11 and *Vibrio fluvialis* PM17 on immune indices of tiger shrimp, *Penaeus monodon*. Fish and Shellfish Immunology. 17:115–120.
- Amon, R.M.W. y Benner, R. 1996. Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter. Limnology and Oceanography, 41:41–51.
- Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Adhikary, R.K., Rahman, S.M.S. y Azim, M.E. 2010. Effects of carbohydrate source for maintaining a high C:N ratio and fish driven re-suspension on pond ecology and production in periphyton-based freshwater prawn culture systems. Aquaculture. 301:37–46.
- Audelo-Naranjo, J.M., Martínez-Córdova, L.R. y Voltolina, D. 2010. Nitrogen budget in intensive cultures of *Litopenaeus vannamei* in mesocosms, with zero water exchange and artificial substrates. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 45: 519–524.
- Audelo-Naranjo, J.M., Martínez-Córdova, L.R., Voltolina, D. y Gómez-Jiménez, S. 2011. Water quality, production parameters and nutritional condition of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) grown intensively in zero water exchange mesocosms with artificial substrates. Aquaculture Research. 42: 1371–1377.
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture. 176:227–235.
- Avnimelech, Y. 2009. Biofloc technology - A practical guide book. The World Aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana, United States. 182 p.
- Azim, M.E. y Little, D.C. 2008 The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture. 283: 29–35.
- Balcazar, J.L., de Blas, I., Ruiz-Zarzuela, I., Cunningham, D., Vendrell, D. y Muzquiz, J.L. 2006. The role of probiotics in aquaculture. Veterinary Microbiology. 114:173–186.
- Becerra-Dorame, M.J., Martínez-Córdova, L.R., López-Elías, J.A. y Martínez-Porchas, M. 2011. Evaluation of autotrophic and heterotrophic microcosm-based systems on the production response of *Litopenaeus vannamei* intensively nursed without *Artemia* and with zero water exchange. Israeli Journal of Aquaculture-Bamigdeh, IIC 63: 620.
- Becerra-Dorame, M.J., Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L.R., Rivas-Vega, M.E., López-Elías, J.A. y Porchas-Cornejo, M.A. 2012. Production response and digestive enzymatic activity of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) intensively pre-grown in autotrophic and heterotrophic microbial based-systems. The Scientific World Journal. 2012:723654
- Biddanda, B.A., Ogdahl, M.L. y Cotner, J.B. 2001. Dominance of bacterial metabolism in oligotrophic relative to eutrophic waters. Limnology and Oceanography, 46:730–9.
- Blackburn, S. 2004. Water Pollution and Bioremediation by Microalgae: Eutrophication and Water Poisoning. Pages 417–

- 429 In: Richmond A. (Ed.). *Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Science, Oxford, U.K. 566 pp.
- Brown, M. R. 2002. Nutritional value of microalgae for aquaculture. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G. y 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.
- Campa-Córdova, A.I., Luna-González, A., Mazón-Suastegui, J.M., Aguirre-Guzmán, G. Ascencio, F. y González-Ocampo, H.A. 2011. Efecto de bacterias probióticas en el cultivo larvario del ostión de placer *Crassostrea corteziensis* (Bivalvia: Ostreidae). *Revista de Biología Tropical*. 59:183-191.
- Chávez-Crooker, P. y Obreque-Contreras, J. 2010. Bioremediation of aquaculture wastes. *Current Opinion in Biotechnology*. 21:313-317.
- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Huang, T. T., Lin, C. J., Ong, S. C., Chen, C. D. y Lin, C. S. 2011. Microalgal biomass production and on-site bioremediation of carbon dioxide, nitrogen oxide and sulfur dioxide from flue gas using *Chlorella* sp. cultures. *Bioresource Technology*. 102:9135-9142.
- Cotner, J.B., Johengen, T.H. y Biddanda, B.A. 2000. Intense winter heterotrophic production stimulated by benthic resuspension. *Limnology and Oceanography*. 45:1672-6.
- Cotner, J.B. y Biddanda, B.A. 2002. Small players, large role: microbial influence on biogeochemical processes in pelagic aquatic ecosystems. *Ecosystems*. 5: 105-121.
- Das, S., Ward, L.R. y Burke, C. 2008. Prospects of using marine actinobacteria as probiotics in aquaculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 81:419-429.
- Doshi, H., Ray, A. y Kothari, I. L. 2007. Bioremediation potential of live and dead *Spirulina*: Spectroscopic, kinetics and SEM studies. *Biotechnology and Bioengineering*. 96:1051-1063.
- Ebeling, J. M., Timmons, M. B. y Bisogni, J. J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*. 257:346-358.
- Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, S. H., Bachtar, T., Surawidjaja, E. H., Bossier, P. y De Schryver, P. 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture*. 246-247:105-111.
- Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O. y Wasielesky, W. 2012. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture Research*. 43:447-457.
- Fiencke, C., Spieck, E. y Bock, E. 2005. Nitrifying bacteria. In: Werner, D. y Newton, W.E. (eds.). *Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment*. Springer. 255-276.
- Gatesoupe, F.J. 2007. Live yeasts in the gut: Natural occurrence, dietary introduction, and their effects on fish health and development. *Aquaculture*. 267:20-30.
- Gomez-Gil, B., Roque, A. y Turnbull, J.F. 2000. The use and selection of probiotic bacteria for use in the culture of larval aquatic organisms. *Aquaculture*. 191:259-270.
- Gómez-Gil, B., Roque, A. y Velasco-Blanco, G. 2002. Culture of *Vibrio alginolyticus* C7b, a potential probiotic bacterium, with the microalga *Chaetoceros muelleri*. *Aquaculture*. 211:43-48.
- González, L.E., Cañizares, R.O. y Baena, S. 1997. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource Technology*. 60:259-262.
- Hemaiswarya, S., Raja, R., Kumar, R. R., Ganesan, V. y Anbazhagan, C. 2011. Microalgae: a sustainable feed source for aquaculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 27:1737-1746.
- Hoffmann, J.P. 2002. Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae. *Journal of Phycology*. 34:757-763.
- Horowitz, S. y Horowitz, A. 2002. Microbial intervention in Aquaculture. In: Lee, C.S. y O'Brien, P. (eds) *Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems*, pp. 119-129. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, Chap. 9.
- Jackson, C., Preston, N., Thompson, P. J. y Burford, M. 2003. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. *Aquaculture*. 218:397-411.
- Koops, H. P. y Pommerening-Roser, A. 2001. Distribution and ecophysiology of nitrifying bacteria emphasizing cultured species. *FEMS Microbiology and Ecology*. 1255:1-9.
- Kwon, H. K., Oh, S. J. y Yang, H. S. 2013. Growth and uptake kinetics of nitrate and phosphate by benthic microalgae for phytoremediation of eutrophic coastal sediments. *Bioresource Technology*. *En prensa*.
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M.A., Guzmán-Méndez, B. y López-Madrid, W. 2003. Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 216:193-201.
- Lim, S. L., Chu, W. L. y Phang, S. M. 2010. Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater. *Bioresource Technology*. 101:7314-7322.
- López-Tarín, F. 2011. Efecto de la sustitución parcial de una dieta comercial complementada con floc en el crecimiento y la sobrevivencia de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en un sistema intensivo con cero recambio de agua. Tesis de Maestría. CESUES, México, 60 pp.
- Maicá, P.F., Borba, M.R. y Wasielesky, W. 2012. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water exchange super-intensive system. *Aquaculture Research*. 43:361-370.
- Martínez-Córdova, L.R., López-Elías, J.A., Leyva-Miranda J.G., Armenta-Ayón, L. y Martínez-Porchas, M. 2011. Bioremediation and reuse of shrimp aquaculture effluents to farm white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*: A first approach. *Aquaculture Research*. 42:1415-1423.
- Martínez-Córdova, L.R. Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A. y Martínez-Porchas, M. 2014. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture*. 6:1-8.
- Mridula, R.M., Manissery, J.K., Keshavanath, P., Shankar, K.M., Nandeesh, M.C. y Rajesh, K.M. 2003. Water quality, biofilm production and growth of fringe-lipped carp (*Labeo fimbriatus*) in tanks provided with two solid substrates. *Bioresource Technology*. 87:263-267.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G. P., Halling, C., Shipgel, M. y Yarish, C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art

- emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231:361-391.
- Paniagua-Michel, J. y Garcia, O. 2003 Ex-situ bioremediation of shrimp culture effluent using constructed microbial mats. *Aquaculture Engineering*, 28:131-139.
- Raja, R., Hemaiswarya, S., Kumar, N. A., Sridhar, S. y Rengasamy, R. 2008 A perspective on the biotechnological potential of microalgae. *Critical Reviews in Microbiology*. 34:77-88.
- Rivkin, R.B. y Legendre, L. 2001. Biogenic carbon cycling in the upper ocean: effects of microbial respiration. *Science*. 291:2398-400.
- Samocha, T.M., Patnaik, S., Speed, M., Ali, A.M., Burger, J.M., Almeida, R.V., Ayub, Z., Harisanto, M., Horowitz, A. y Brock, D.L. 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*. 36:184-191.
- Sánchez, I.A., Revelo, D.M., Burbano, A.E., García, R. y Guerrero, C. 2013. Eficiencia de consorcios microbianos para tratamiento de aguas residuales en un sistema de recirculación acuícola. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 11:245-254.
- Wilde, E.W. y Benemann, J.R. 1993. Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae. *Biotechnology Advances*. 11:781-812.
- Yamashita, T., Yamamoto-Ikemoto, R., y Zhu, J. 2011. Sulfate-reducing bacteria in a denitrification reactor packed with wood as a carbon source. *Bioresource Technology*. 102:2235-2241.