



The effect of biofloc technology (BFT) on water quality in white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture: A review

El efecto de la tecnología de biofloc (TBF) sobre la calidad del agua en el cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*: Una revisión

Mendoza-López, D.G.¹, Castañeda-Chávez, M.R.¹, Lango-Reynoso, F.¹, Galaviz-Villa, I.¹, Montoya-Mendoza, J.¹, Ponce-Palafox, J.T.^{2*}, Esparza-Leal, H.M.³, Arenas-Fuentes, V.⁴.

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba. Veracruz, México. C.P. 94290.

²Universidad Autónoma de Nayarit, Laboratorio de Bioingeniería Costera. Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Centro Multidisciplinario de Bahía de Banderas, Nayarit, México. C.P. 63000.

³Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Sinaloa. Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes # 250, Guasave, Sinaloa, México. C.P. 81101.

⁴Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Boca del Río, Veracruz. México. C.P. 94290.

ABSTRACT

Due to the characteristics of zero water exchange, small space, decreased level of protein and lower costs than other available technologies for intensive and hyper-intensive cultivation, in recent years investigations of the effect of the biofloc technology (BFT) on the zootechnical parameters of white shrimp (*L. vannamei*) and water quality parameters have increased. The aim of this review was to analyze the response of physical, chemical and biological parameters on water quality in the systems that involve BFT and shrimp culture. Results showed that within systems to improve water quality, plastic materials have been tested to increase the surface area, sedimentation tanks to reduce total suspended solids (TSS) and to enhance denitrification technology *ex-situ* to remove solids and nitrates of effluents, multi-trophic systems to reduce nitrites and ammonium system, and co-cultures with macroalgae to reduce most nutrients and *Vibrio* density, among others. Overall, it was found that the biofloc system has an effect on water quality

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: August 10th 2016.

Accepted/Aceptado: October 25th 2016.

RESUMEN

Debido a las características de cero recambio de agua, espacio limitado, uso de menor nivel de proteína en la dieta, menores costos que otras tecnologías disponibles para el cultivo intensivo e hiperintensivo de camarón, en los últimos años se han incrementado las investigaciones del efecto de la tecnología del biofloc (TBF) sobre los parámetros zootécnicos del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y calidad del agua. La finalidad de esta revisión fue analizar la respuesta de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad del agua en los sistemas que involucran a la TBF y el cultivo de camarón. Los resultados mostraron que dentro de los sistemas para mejorar la calidad del agua se han probado materiales plásticos para incrementar el área superficial, tanques de sedimentación para disminuir los sólidos suspendidos totales (SST) y mejorar la desnitrificación, tecnología *ex-situ* para remover sólidos y nitratos de los efluentes, sistemas multitróficos para reducir nitritos y amonio del sistema, y co-cultivos con macroalgas para disminuir la mayoría de los nutrientes y la densidad de *Vibrio*, entre otros. En términos generales, se encontró que la TBF tiene un efecto sobre la calidad del agua en el cultivo de camarón, que depende de las condiciones ambientales, intensidad de luz, tipo de

*Corresponding Author:

Ponce-Palafox, J.T. Universidad Autónoma de Nayarit. Laboratorio de Bioingeniería Costera. Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Centro Multidisciplinario de Bahía de Banderas, Ciudad de la Cultura s/n. Col. Centro. Tepic, Nayarit. México. C.P. 63000. Phone: +52(311) 211 8800. E-mail: jesus.ponce@usa.net

of shrimp culture, which depends on environmental conditions, light intensity, type of carbon source, level of TSS, salinity, alkalinity, pH, type of phytoplankton and bacteria, among other factors.

KEY WORDS

Biofloc technology, water quality, *L. vannamei*, nutrients.

Introduction

White shrimp *Litopenaeus vannamei* culture, native to the American Pacific, has been extended all over the world (Chávez *et al.*, 2002). In shrimp culture, management of water quality is one of the main factors that must be considered for an efficient and good profitability of aquaculture production, particularly in systems with intensive and hyperintensive cultures (Boyd and Tucker, 1998). One of the most common problems faced by white shrimp culture in intensive and hyperintensive systems is the accumulation of nitrogen waste (NH_4^+ and NO_2^-) in water (Colt and Armstrong, 1981). Therefore, a series of strategies to eliminate the excess of nitrogen in culture systems have been used, amongst which: a) exchange and water replacement, b) improvement and stimulus of nitrification process and, c) elimination of ammonium through the assimilation of microbial protein, stimulated with the addition of materials rich in carbon (Avnimelech, 1999).

The last strategy (c) has the advantage of purifying the system, apart from the ability to use microbial protein as feed source for shrimp (Avnimelech *et al.*, 2012). The latter is explained by the high proportion of organic carbon to nitrogen (C:N) that is accomplished due to bacteria assimilating water nitrogen and producing cellular protein (Ebeling *et al.*, 2006). This procedure has been developed in shrimp production systems in high densities (Otoshi *et al.*, 2003) and has reached its highest application in intensive culture systems of shrimp with zero replacement or a very low replacement rate between 0.5 to 1 % day^{-1} (Burford *et al.*, 2003). There are three systems for ammonium removal and water quality control through picoplankton (Moran *et al.*, 2012), which mainly depend on the type of dominant organisms in the system (photoautotrophic, bacterial autotrophic and bacterial heterotrophs) or a mix of them. Its fundament is based in the microbial growth used to characterize the production of total suspended solids and volatiles for au-

fente de carbono utilizado, nivel de SST, salinidad, alcalinidad, pH, tipo de fitoplancton y grupo de bacterias presentes, entre otros factores.

PALABRAS CLAVE

Tecnología biofloc, calidad del agua, *L. vannamei*, nutrientes.

Introducción

El cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, originario del Pacífico Americano se ha extendido por casi todo el mundo (Chávez *et al.*, 2002). En el cultivo de camarón, el manejo de la calidad de agua es uno de los principales factores que se tienen que considerar para una eficiente y buena rentabilidad de la producción acuícola, particularmente en sistemas con cultivos intensivos e hiperintensivos (Boyd y Tucker, 1998). Uno de los problemas más comunes al que se enfrenta el cultivo de camarón blanco en los sistemas intensivos e hiperintensivos, es la acumulación de desechos nitrogenados (NH_4^+ y NO_2^-) en el agua (Colt y Armstrong, 1981). Razón por la cual se han utilizado una serie de estrategias para eliminar el exceso de nitrógeno de los sistemas de cultivo, dentro de las cuales se encuentran: a) el intercambio y reemplazo del agua, b) la mejora y estímulo del proceso de nitrificación y, c) la eliminación de amonio a través de la asimilación por proteína microbiana, estimulada con la adición de materiales ricos en carbono (Avnimelech, 1999).

Esta última estrategia (c) tiene la ventaja que además de depurar el sistema, se puede utilizar la proteína microbiana como una fuente de alimento para los camarones (Avnimelech *et al.*, 2012). Esto se explica por la alta proporción de carbono orgánico a nitrógeno (C:N) que se logra, debido a que las bacterias asimilan el nitrógeno del agua y producen proteína celular (Ebeling *et al.*, 2006). Este procedimiento se ha desarrollado en sistemas de producción de camarón en altas densidades (Otoshi *et al.*, 2003) y ha tenido su máxima aplicación en los sistemas de cultivo intensivo de camarón con cero recambio o una tasa de recambio muy baja de entre 0.5 a 1 % día^{-1} (Burford *et al.*, 2003). Existen tres sistemas para la remoción del amonio y control de la calidad de agua a través del picoplancton (Moran *et al.*, 2012), los cuales dependen principalmente del tipo de organismos dominantes en el sistema (fotoautótrofos, autótrofos bacteriales y heterótrofos bacteriales)

trophic and heterotrophic (Ebeling *et al.*, 2006). This is due to bacteria taking advantage of dissolved organic matter (mainly produced by phytoplankton) as a source of energy and nitrogen for protein synthesis, generating a trophic microbial network in the biofloc parallel to conventional trophic chains. Hence, the microscopic size of bacteria and the high proportion surface-volume they have, allow the absorbance of nutrients at very low concentration, giving competitive advantage on diverse animal and vegetal organisms present in the biofloc (Azam *et al.*, 1983).

The removal of nitrogen through the three appointed systems are different in terms of substrate use, bacterial biomass generated and subproducts, therefore, in an intensive shrimp culture with zero replacement, the three systems can be present and compete with the same substrate. Thus, the ability to control the proportion of carbon to nitrogen by the formulation of balanced feed, solid removal and addition of organic carbon will determine the management strategy for the type of system used (Arantes *et al.*, 2016).

The before mentioned concepts have been the base of the BFT, which was developed in the 70s, where biological flocs can be considered as a mix of microbial communities that rapidly grow and where nitrogen waste is recycled to young cells, which are consumed by shrimp (Crab *et al.*, 2007). Biofloc technology is an intensive approximation of the aquaculture production based on high concentrations of suspended solids to supply treatment to the water and supplementary feed for fishes and shrimp (Browdy *et al.*, 2014). BFT has been used in intensive production of shrimp since the 90s. BFT enhances the health of shrimp by the stimulation of their non-specific immune system, providing an adequate biosecurity due to a low rate of water exchange and quality in stable water, derived from high rates of aeration that are applied in culture tanks of biofloc. The description of this technology is widely explained in Avnimelech (2012) and reviews on the BFT have been described by Emerenciano *et al.*, (2013) and Collazos-Lasso and Arias-Castellanos (2015), as well as a wide relation of BFT with shrimp diseases by Browdy *et al.*, (2014). 23 biofloc technology patents applied in aquaculture have been registered and in highest number in South Korea.

Due to the characteristics of zero water replacement, low space, decrease in the protein level in the diet and lower

o de una mezcla de los tres. Su fundamento se basa en el crecimiento microbiano utilizado para caracterizar la producción de **sólidos suspendidos totales y volátiles para sistemas autotróficos y heterotróficos** (Ebeling *et al.*, 2006). Esto se debe a que las bacterias aprovechan la materia orgánica disuelta (principalmente producida por el fitoplancton) como una fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteína, generándose en el biofloc una red trófica microbiana paralela a las cadenas tróficas convencionales; de tal manera que el tamaño microscópico de las bacterias y la alta proporción superficie-volumen que tienen, permite la absorción de nutrientes en muy baja concentración, dándole una ventaja competitiva sobre diversos organismos animales y vegetales presentes en el biofloc (Azam *et al.*, 1983).

La remoción de nitrógeno por medio de los tres sistemas señalados son diferentes en términos de la utilización del sustrato, biomasa bacteriana generada y subproductos, por lo que en un cultivo intensivo de camarón con cero recambio, los tres sistemas pueden estar presentes y competir por el mismo sustrato. De esta forma, la habilidad para controlar la proporción de carbono a nitrógeno mediante la formulación del alimento balanceado, remoción de sólidos y adición de carbono orgánico determinará la estrategia de manejo para el tipo de sistema utilizado (Arantes *et al.*, 2016).

Los conceptos antes descritos han sido la base de la TBF, que se desarrolló en la década de los 70s, donde los flóculos biológicos pueden ser considerados como una mezcla de comunidades microbianas que crecen rápidamente y donde los desechos nitrogenados son reciclados a células jóvenes, las cuales son consumidas por los camarones (Crab *et al.*, 2007). La tecnología del biofloc es una aproximación intensiva de la producción acuícola que se basa sobre elevadas concentraciones de sólidos suspendidos para proporcionar tratamiento al agua y alimento suplementario para peces y camarones (Browdy *et al.*, 2014). La TBF ha sido utilizada en la producción intensiva de camarón desde la década de los 90s. La TBF mejora la salud de los camarones mediante la estimulación de su sistema inmune no específico, por lo que proporciona una adecuada bioseguridad debido a una tasa baja de intercambio de agua y una calidad del agua estable, derivado de altas tasas de aireación que se aplican en los estanques de cultivo del biofloc. La descripción de esta tecnología está explicada ampliamente en Avnimelech (2012) y revisiones sobre la TBF han sido descritas por Emerenciano *et al.*, (2013) y Collazos-Lasso y Arias-Castellanos (2015), así como una

costs of other technologies available for the intensive and hyperintensive culture, in the last years investigations on the effect of BFT on zootechnical parameters of white shrimp (*L. vannamei*) and water quality, considering aspects as the effects of light/darkness period (Neal *et al.*, 2010; Baloi *et al.*, 2013), salinity (Esparza-Leal *et al.*, 2016), alkalinity (Furtado *et al.*, 2012; Piérri, 2012), dissolved oxygen consumption (Vinatea *et al.*, 2010), water quality on different concentrations of biofloc (Ray *et al.*, 2011; Schweitzer *et al.*, 2013a; 2013b), management methods for the control of total suspended solids (Arantes *et al.*, 2016), water clarification (elimination of turbidity) (Gaona *et al.*, 2011), nutritional quality of biofloc (Xu and Pan, 2012; Xu *et al.*, 2012), artificial substrates (Schweitzer *et al.*, 2013b) and integrated aquaculture systems (Liu *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2014).

Overall, research on the effect of the water quality parameters of BFT in shrimp culture has been carried by studying few parameters or factors according to the group work that performs it. Nevertheless, there is no holistic analysis on the effect of the BFT on the water quality in the culture of white shrimp, so the aim of this review was to analyze the response of physical, chemical and biological parameters on water quality in the systems that involve BFT and shrimp (*L. vannamei*) culture.

Discussion

Parameters on water quality

The culture of shrimp with BFT has been carried at greenhouse level, mainly in tropical and subtropical regions where there are longer periods and with higher amounts of light per cm² than in other regions of the world (Neal *et al.*, 2010). The presence (24 h light) or absence of light (24 h darkness) has been found not to cause significant differences in water temperature, dissolved oxygen, pH, salinity, ammonium, nitrites and phosphates. However, the concentration of alkalinity, TSS, volatile suspended solids (VSS), nitrates and chlorophyll-*a* (Chl-*a*) are higher in the 24 hour-of-light period (Baloi *et al.*, 2013). In addition, Chl-*a* is negatively affected by the absence of light and by the use of carbon sources, factors that promote a succession and dominance of bacteria on microalgae (Ju *et al.*, 2008). Baloi *et al.*, (2013) determined that shrimp presents a higher specific growth rate when cultured with light (1.25 % day⁻¹) than with no light (1.10 % day⁻¹).

relación amplia de la TBF con las enfermedades de camarón por Browdy *et al.*, (2014). Se han registrado 23 patentes de tecnología de biofloc aplicadas a la acuicultura y el mayor número en Corea del Sur.

Debido a las características de cero recambio de agua, poco espacio, disminución del nivel de proteína en la dieta y menores costos de otras tecnologías disponibles para el cultivo intensivo e hiperintensivo, en los últimos años se han incrementado las investigaciones del efecto de la TBF sobre los parámetros zootécnicos del camarón blanco (*L. vannamei*) y la calidad del agua, considerando aspectos como los efectos del periodo luz/oscuridad (Neal *et al.*, 2010; Baloi *et al.*, 2013), salinidad (Esparza-Leal *et al.*, 2016), alcalinidad (Furtado *et al.*, 2012; Piérri, 2012), consumo de oxígeno disuelto (Vinatea *et al.*, 2010), calidad del agua bajo diferentes concentraciones de biofloc (Ray *et al.*, 2011; Schweitzer *et al.*, 2013a; 2013b), métodos de manejo para el control de sólidos suspendidos totales (Arantes *et al.*, 2016), clarificación del agua (eliminación de la turbiedad) (Gaona *et al.*, 2011), calidad nutricional del biofloc (Xu and Pan, 2012; Xu *et al.*, 2012), substratos artificiales (Schweitzer *et al.*, 2013b) y sistemas acuícolas integrados (Liu *et al.*, 2014; Brito *et al.*, 2014).

En general, las investigaciones sobre el efecto de los parámetros de la calidad del agua de la TBF en el cultivo de camarón se han llevado a cabo estudiando pocos parámetros o factores de acuerdo al grupo de trabajo que lo realiza. Sin embargo, no existe un análisis general holístico del efecto de la TBF sobre la calidad del agua en el cultivo del camarón blanco, por lo que la finalidad de este trabajo fue llevar a cabo una revisión de la respuesta de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad del agua en los sistemas manejados con la TBF y el cultivo de camarón (*L. vannamei*).

Discusión

Parámetros de la calidad del agua

El cultivo de camarón con la TBF se ha llevado a cabo a nivel de invernadero principalmente en regiones tropicales y subtropicales donde hay periodos más largos y de mayor cantidad de luz por cm² que en las otras regiones del mundo (Neal *et al.*, 2010). Se ha encontrado que la presencia (24 h luz) o ausencia de luz (24 h oscuridad) no ocasiona diferencias significativas en la temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, salinidad, amonio, nitritos y fosfatos. Sin embargo, la concentración de alcalinidad, SST, sólidos suspendidos volátiles (SSV), nitratos y clorofila-*a* (Chl-*a*) son mayores en el periodo de 24

Esparza-Leal *et al.*, (2016) found in shrimp culture with 2,000 org m⁻³, with BFT (370 a 1,100 mg L⁻¹ of TSS) and zero water replacements, that salinity in an interval of 2 to 35 g L⁻¹ had no effect on temperature, pH and oxygen dissolved in water. In salinities of 25 and 35 g L⁻¹ they recorded a higher concentration in alkalinity, TSS, floc volume, main ions (Cl, Na, Mg, Ca, K, SO₄) and nitrates. In contrast, in salinities of 2 to 4 g L⁻¹, an increase in the concentration of nitrites and ammonium, until nitrites reached a critical point (4 mg L⁻¹), which caused high mortality in shrimp, was recorded. In this work, an inverse relationship between ion concentration and final weight of shrimp was presented.

In relation to the consumption of oxygen by shrimp, Vinatea *et al.*, (2010) found that in a superintensive culture (610 org m⁻²) with BFT and in rapid current channels, after 10 minutes of having suspended water aeration, the consumption of oxygen was significantly higher in illumination conditions than in darkness. Nevertheless, they determined that this condition is reverted after 20 minutes, presenting a higher consumption of oxygen in darkness conditions. In addition, they found that when there are concentrations of 4.1 mg O₂ L⁻¹ in water and aeration absence, the system can reach critical concentrations of oxygen dissolved in water (0.65 mg O₂ L⁻¹) at 31.8 and 34.7 minutes of absence and presence of light, respectively. To improve the concentration and performance of the production of oxygen dissolved in water of systems managed with BFT, different types of aerators have been tested: blower, turbine, pallets and surface aerator with submersible motor of double helix, resulting in better performance with the surface aerator system (Pasco, 2015).

Carbon dioxide (CO₂) accumulation in the culture of shrimp in systems managed with BFT raises by the increase of biomass in shrimp and the biofloc, due to the respiration and zero replacement of water. The CO₂ becomes toxic for aquatic organisms because it acidifies hemolymph and reduces the capacity to transport oxygen, which generates metabolic stress. Furtado *et al.*, (2012) found that high concentration of TSS (1,800 mg L⁻¹) and floc volume (200 ml L⁻¹) provokes that the concentration of CO₂ increases (48 mg L⁻¹) and the pH decreases from 6.68 to 6.79, affecting shrimp growth. Also, they determined that concentrations of CO₂ lower than 20 mg L⁻¹ do not affect shrimp growth.

horas de luz (Baloi *et al.*, 2013). También, la Chl-a es afectada negativamente por la ausencia de luz y por la utilización de fuentes de carbono, factores que promueven una sucesión y dominancia de bacterias sobre microalgas (Ju *et al.*, 2008). Baloi *et al.*, (2013) determinaron que los camarones presentan una mayor tasa de crecimiento específico al cultivarse con luz (1.25 % día⁻¹) que sin luz (1.10 % día⁻¹).

Esparza-Leal *et al.*, (2016) encontraron en un cultivo de camarón con 2,000 org m⁻³, con la TBF (370 a 1,100 mg L⁻¹ de SST) y cero recambios de agua, que la salinidad en un intervalo de 2 a 35 g L⁻¹ no tuvo efecto sobre la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto del agua. En las salinidades de 25 y 35 g L⁻¹ registraron una mayor concentración de alcalinidad, SST, volumen de flóculos, principales iones (Cl, Na, Mg, Ca, K, SO₄) y nitratos. En cambio, en las salinidades de 2 a 4 g L⁻¹, se registró un aumento en la concentración de nitritos y amonio, hasta llegar los nitritos a un punto crítico (4 mg L⁻¹) que ocasionó una alta mortalidad del camarón. En este estudio, se presentó una relación inversa entre la concentración de iones y el peso final de los camarones.

En relación al consumo de oxígeno por el camarón, en un cultivo superintensivo (610 org m⁻²) con la TBF y en canales de corriente rápida Vinatea *et al.*, (2010) encontraron que después de 10 minutos de suspender la aireación del agua el consumo de oxígeno en condiciones de iluminación fue significativamente mayor que en la oscuridad. Sin embargo, determinaron que esta condición se revierte después de 20 minutos, presentándose un mayor consumo de oxígeno en condiciones de oscuridad. Además, encontraron que cuando se tienen concentraciones de 4.1 mg O₂ L⁻¹ en el agua y en ausencia de aireación, el sistema puede llegar a concentraciones críticas de oxígeno disuelto en el agua (0.65 mg O₂ L⁻¹) a los 31.8 y 34.7 minutos de ausencia y presencia de luz, respectivamente. Para mejorar la concentración y el rendimiento de la producción de oxígeno disuelto en el agua de sistemas manejados con la TBF, se han probado diferentes tipos de aireadores: blower, turbina, paletas y aireador de superficie con motor sumergible de doble hélice, dando como resultado un mejor rendimiento con el sistema de aireador de superficie (Pasco, 2015).

La acumulación de dióxido de carbono (CO₂) en el cultivo de camarón en los sistemas manejados con la TBF aumenta por el incremento de la biomasa de camarones y el biofloc, debido a la respiración y al cero intercambio de agua. El CO₂ se convierte en tóxico para los organismos acuáticos por que acidifica la hemolinfa y reduce la capacidad de transportar oxígeno, lo que les genera un estrés metabólico. Furtado *et al.*, (2012) en-

When pH is maintained between 7.0 and 9.0, heterotrophic and nitrifying bacteria growth is favored (Chen *et al.*, 2006). The pH can be dissolved due to the reduction of alkalinity, the increase of CO₂ dissolved and the increase of the respiration in the system managed with the BFT (Vinatea *et al.*, 2010). Therefore, the effect of alkalized composites [sodium carbonate (Na₂CO₃), calcium hydroxide (Ca(OH)₂) and sodium bicarbonate (NaHCO₃)] of water on the pH and alkalinity has been determined. These compounds, mainly the calcium hydroxide and sodium bicarbonate, decrease CO₂ concentration and the orthophosphates in water of the BFT system, and increase pH, alkalinity and volume of the microbial floc. This causes the improvement of the shrimp growth, since maintaining a pH in the interval 7.5 to 7.9 in the system, and an alkalinity concentration from 100 to 162.2 mg CaCO₃ L⁻¹, organisms present a better productive improvement (Furtado *et al.*, 2012). When alkalinities are maintained from 40 to 160 mg L⁻¹ in the BFT system, no significant effect on the TSS, ammonium, nitrites, nitrates and Chl-*a* has been determined (Piérrri, 2012). In contrast, when the alkalinity increases above 160 mg L⁻¹, an increase in the pH has been recorded, as well as a tendency of increase of heterotrophic bacteria and ammonium oxidant bacteria, with a decrease of nitrites oxidant bacteria (Piérrri, 2012).

A way to stimulate the development of biofloc in intensive and hyperintensive cultures of shrimp, is through the supply of carbohydrates, apart from the supplementary feeding with balanced feed (25 to 35 % protein), which generally has a proportion C:N around 10:1 (Asaduzzaman *et al.*, 2010). In culture systems of crustaceans, when the proportion of C:N increases from 10:1 to 20:1, the concentration of plankton, periphyton, heterotrophic bacteria and macroinvertebrate benthic is increased (Asaduzzaman *et al.*, 2010). In systems managed with BFT, a modification in the proportion C:N from 10:1 to 14:1 has been determined to cause an increase in the concentration of flocs (Xu *et al.*, 2013). But when the sucrose is used as carbon source, no significant changes are present in water quality and flocs concentration (Xu and Pan, 2012). However, when it is used in proportion 20:1, a higher tendency in the concentration of TSS and flocs volume is presented.

To stimulate the biofloc, molasses, brown sugar, bran, rice polish, bran and wheat flour, sucrose, dextrose, corn yeast, tapioca, glycerine and calcium acetate, amongst

contraron que la alta concentración de SST (1,800 mg L⁻¹) y volumen de floculo (200 ml L⁻¹) provoca que la concentración de CO₂ se eleve (48 mg L⁻¹) y el pH disminuya de 6.68 a 6.79, afectando el crecimiento del camarón. También, determinaron que las concentraciones de CO₂ menores a 20 mg L⁻¹ no afectan el crecimiento del camarón.

Cuando el pH se mantiene entre 7.0 y 9.0 se favorece el crecimiento de bacterias heterotróficas y nitrificantes (Chen *et al.*, 2006). El pH puede disminuir debido a la reducción de la alcalinidad, al aumento del CO₂ disuelto y al aumento de la respiración en el sistema manejado con la TBF (Vinatea *et al.*, 2010). Debido a lo anterior, se ha determinado el efecto de compuestos alcalinizantes [carbonato de sodio (Na₂CO₃), hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) y bicarbonato de sodio (NaHCO₃)], del agua sobre el pH y la alcalinidad. Estos compuestos, principalmente el hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio, disminuyen la concentración del CO₂ y los ortofosfatos en el agua del sistema TBF, y aumentan el pH, alcalinidad y volumen de floc microbioal. Esto ocasiona que mejore el crecimiento de los camarones ya que al mantener en el sistema un pH en el intervalo de 7.5 a 7.9 y una concentración de alcalinidad de 100 a 162.2 mg CaCO₃ L⁻¹, los organismos presentan un mejor desempeño productivo (Furtado *et al.*, 2012). Cuando se mantienen alcalinidades de 40 a 160 mg L⁻¹ en el sistema TBF no se ha determinado efecto significativo sobre SST, amonio, nitritos, nitratos y Chl-*a* (Piérrri, 2012). En cambio, cuando aumenta la alcalinidad arriba de 160 mg L⁻¹, se ha registrado un aumento del pH, así como una tendencia de aumento de las bacterias heterotróficas y bacterias oxidantes de amonio con una disminución de las bacterias oxidantes de nitritos (Piérrri, 2012).

Una forma de estimular el desarrollo del biofloc en los cultivos intensivos e hipertensivos de camarón, es a través del suministro de carbohidratos, además de la alimentación suplementaria con alimento balanceado (25 a 35 % proteína), la cual por lo general tiene una proporción C:N alrededor de 10:1 (Asaduzzaman *et al.*, 2010). En sistemas de cultivo de crustáceos cuando se aumenta la proporción de C:N de 10:1 a 20:1 se incrementa la concentración de plancton, perifiton, bacterias heterotróficas y macroinvertebrados bénticos (Asaduzzaman *et al.*, 2010). En los sistemas manejados con la TBF, se ha determinado que una modificación de la proporción C:N de 10:1 a 14:1, ocasiona un incremento de la concentración de flóculos (Xu *et al.*, 2013). Pero cuando la sacarosa se utiliza como fuente de carbono, no se presentan cambios significativos en la calidad del agua y concentración de flóculos (Xu y Pan, 2012). Sin embargo, cuando se utiliza en proporción 20:1, se presenta una tendencia de mayor concentración de SST y volumen de flóculos.

other products, have been used (Samocha *et al.*, 2007; Suita, 2009; Asaduzzaman *et al.*, 2010; Emerenciano *et al.*, 2012; Kuhn and Lawrence, 2012a; Xu *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2014; Rajkumar *et al.*, 2015). The product with higher use in systems managed with BFT is molasses. However, when two biofloc systems with shrimp were evaluated, the first one based in a chemoautotrophic (QA), where the process of nitrification dominates, and the second dominated by three heterotrophic systems, which were established and maintained with sucrose (HS), molasses (HM) and glycerol (HG), it was found that nitrate concentration was higher in the system QA ($162 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$), while in heterotrophic systems (HS, HM and HG), concentrations were low ($< 0.01 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$), but Biochemical Oxygen Demand (BOD) and TSS were higher. In that study, shrimp had specific growth rate higher in the QA and HS system (Ray and Lotz, 2014). When molasses, tapioca and wheat flour were used to maintain biofloc, it was found that the wheat flour reduced total ammonium, a good quality of water was maintained ($484.94 \pm 65.46 \text{ mg L}^{-1}$ of TSS) and resulted in a better growth rate of shrimp (4.57 ± 0.03) and survival of 90.3 % (Rajkumar *et al.*, 2015).

A good management of biofloc concentration can improve water quality, the feed conversion ratio (FCR) and productive behavior of shrimp (Ray *et al.*, 2010). When TSS concentration is found in 200 mg L^{-1} , it has been determined that nitrites and nitrates are lower and the ammonium and phosphates are higher than in 300 mg L^{-1} of TSS (Ray *et al.*, 2011). In addition, a better growth rate (1.7 g week^{-1}) in 200 mg L^{-1} than in 300 mg L^{-1} (1.3 g week^{-1}) was recorded. In higher volumes of biofloc ($800\text{--}1,000 \text{ mg L}^{-1}$ of TSS), shrimp showed a high grade of occlusion in gills, which suggests that above 800 mg L^{-1} of TSS shrimp can present problems, therefore it is recommended to maintain this variable between 200 and 600 mg L^{-1} of TSS, to maintain productivity and system stability (Schveitzer *et al.*, 2013a).

In low levels of biofloc (200 mg L^{-1}), a higher variability of ammonium and nitrite is present, which is why increasing the proportion of C:N is required to control ammonium by assimilation of bacterial heterotrophic biomass (Schveitzer *et al.*, 2013a). The concentration dissolved in water tends to be lower, and the highest pH and alkalinity in 200 mg L^{-1} than in $800\text{--}1,000 \text{ mg L}^{-1}$. High rates of nitrification were also recorded when it was cultivated above 400 mg L^{-1} TSS. The higher nutritional quality of

Para estimular el biofloc se ha utilizado melaza, azúcar morena, salvado, pulido de arroz, salvado y harina de trigo, sacarosa, dextrosa, almidón de maíz, tapioca, glicerina y acetato de calcio, entre otros productos (Samocha *et al.*, 2007; Suita, 2009; Asaduzzaman *et al.*, 2010; Emerenciano *et al.*, 2012; Kuhn y Lawrence, 2012a; Xu *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2014; Rajkumar *et al.*, 2015). El producto más utilizado en los sistemas manejados con la TBF ha sido la melaza. Sin embargo, cuando se evaluaron dos sistemas de biofloc con camarón, el primero basado en un sistema quimioautotrófico (QA), donde domina el proceso de nitrificación, y el segundo dominado por tres sistemas heterotróficos, que fueron establecidos y mantenidos con sacarosa (HS), melaza (HM) y glicerol (HG) se encontró que la concentración de nitrato fue mayor en el sistema QA ($162 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$), mientras que en los sistemas heterotróficos (HS, HM y HG), las concentraciones fueron bajas ($< 0.01 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$), pero la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y los SST fueron más altos. En ese estudio los camarones tuvieron la tasa específica de crecimiento más alta en el sistema QA y HS (Ray y Lotz, 2014). Cuando se utilizó melaza, harina de tapioca y trigo para mantener el biofloc, se encontró que con harina de trigo se redujo el amonio total, se mantuvo una buena calidad del agua ($484.94 \pm 65.46 \text{ mg L}^{-1}$ de SST) y resultó con la mejor tasa de crecimiento de camarón (4.57 ± 0.03) y supervivencia de 90.3 % (Rajkumar *et al.*, 2015).

Un buen manejo de la concentración de biofloc puede mejorar la calidad del agua, el factor de conversión alimenticia (FCA) y comportamiento productivo del camarón (Ray *et al.*, 2010). Cuando la concentración de SST se encuentra en 200 mg L^{-1} se ha determinado que los nitritos y nitratos son menores y el amonio y fosfatos mayores que en 300 mg L^{-1} de SST (Ray *et al.*, 2011). Además, se registró una mejor tasa de crecimiento ($1.7 \text{ g semana}^{-1}$) en 200 mg L^{-1} que en 300 mg L^{-1} ($1.3 \text{ g semana}^{-1}$). En volúmenes mayores de biofloc ($800\text{--}1,000 \text{ mg L}^{-1}$ de SST) los camarones mostraron un alto grado de occlusión en las branquias, lo que sugiere que arriba de 800 mg L^{-1} de SST se pueden presentar problemas en el camarón. Por lo que se recomienda mantener esta variable entre los 200 y 600 mg L^{-1} de SST, para mantener la productividad y estabilidad del sistema (Schveitzer *et al.*, 2013a).

En niveles bajos de biofloc (200 mg L^{-1}), se tiende a tener una mayor variabilidad del amonio y nitrito, por lo que se requiere aumentar la proporción de C:N para controlar el amonio mediante la asimilación por la biomasa bacteriana heterotrófica (Schveitzer *et al.*, 2013a). La concentración de oxígeno disuelto del agua tiende a ser menor, y el pH y alcalinidad más altos en 200 mg L^{-1} que en $800\text{--}1,000 \text{ mg L}^{-1}$. También se registraron

the biofloc was determined at concentrations of 200 to 600 mg L⁻¹ TSS (Schveitzer *et al.*, 2013a). The concentration of Chl-*a* was lower in 200 mg L⁻¹ than above 800 mg L⁻¹ of TSS. Finally, shrimp growth presented better rates of survival and growth under 600 mg L⁻¹ (Schveitzer *et al.*, 2013a).

In relation to the age of biofloc, it was found that in young biofloc heterotrophic bacteria predominate, and fungus in the old ones, as well as a higher concentration of nitrates. In addition, a high variability of bacterial communities in relation to the age of biofloc due to abiotic and biotic changes has been determined (Ramette, 2007). In BFT, several physical, chemical and biological parameters change with culture time, and a correlation between the evolution of the main groups of biofloc bacteria and nitrites, ammonium and Chl-*a* has been found (Cardona *et al.*, 2016).

Nutritional aspects

In evaluations of effect level (20 to 35 %) of protein in the diet in systems managed with BFT and clear water, it has been determined that in both systems the diet of 35 % protein provokes a lower pH and high levels of nitrite and nitrate. Although, there was no effect on water quality with the level of protein in the diet from 20 to 35 %, which has suggested that the level of protein in the diet can be reduced up to 25 % with no effect on the growth of shrimp in BFT systems with zero water replacement (Xu *et al.*, 2012).

Systems to improve water quality

Within systems to improve water quality, plastic materials have been tested to increase the surface area (Schveitzer *et al.*, 2013b), sedimentation tanks to diminish SST and improve denitrification (Ray *et al.*, 2011), ex-situ technology to remove solids and nitrates from the aquaculture effluents (Kuhn and Lawrence, 2012a), multi-trophic systems to reduce nitrites and system ammonium (Liu *et al.*, 2014) and co-cultures with macroalgae to reduce most nutrients and *Vibrio* density, amongst others (Brito *et al.*, 2016).

In relation with plastic materials to increase the superficial area of the culture tank with the BFT, substrates do not affect water quality, mainly from the pH, dissolved oxygen, alkalinity, ammonium, nitrites and phosphates. Therefore, it has been recorded that there is a biological activity that is not specific to the biofloc, showing that

altas tasas de nitrificación cuando se cultivó por arriba de 400 mg L⁻¹ de SST. La mejor calidad nutricional del biofloc se determinó en concentraciones de 200 a 600 mg L⁻¹ de SST (Schveitzer *et al.*, 2013a). La concentración de Chl-*a* fue menor en 200 mg L⁻¹ que por arriba de 800 mg L⁻¹ de SST. Finalmente el crecimiento del camarón presentó mejores tasas de supervivencia y crecimiento por debajo de 600 mg L⁻¹ (Schveitzer *et al.*, 2013a).

En relación a la edad del biofloc, se ha encontrado que en biofloc jóvenes predominan las bacterias heterotróficas y en los viejos los hongos, así como una mayor concentración de nitratos. Además, se ha determinado una alta variabilidad de las comunidades bacterianas en relación al tiempo del biofloc debido a los cambios abióticos y bióticos (Ramette, 2007). En la TBF varios parámetros físico, químicos y biológicos cambian con el tiempo de cultivo, y se ha encontrado una correlación entre la evolución de los principales grupos de bacterias del biofloc y los nitritos, el amonio y la Chl-*a* (Cardona *et al.*, 2016).

Aspectos nutricionales

En evaluaciones del efecto del nivel (20 a 35 %) de proteína en la dieta en sistemas manejados con la TBF y agua clara, se ha determinado que en ambos sistemas la dieta de 35 % de proteína provoca que se presente un menor pH y niveles altos de nitrito y nitrato. Aunque, en términos generales no hubo efecto sobre la calidad del agua con el nivel de proteína en la dieta de 20 a 35 %, lo que ha sugerido que se puede reducir el nivel de proteína en la dieta hasta un 25 % sin efecto sobre el crecimiento del camarón en sistemas TBF con cero recambio de agua (Xu *et al.*, 2012).

Sistemas para mejorar la calidad del agua

Dentro de los sistemas para mejorar la calidad del agua se han probado materiales plásticos para incrementar el área superficial (Schveitzer *et al.*, 2013b), tanques de sedimentación para disminuir SST y mejorar la desnitrificación (Ray *et al.*, 2011), tecnología ex-situ para remover sólidos y nitratos de los efluentes acuícolas (Kuhn y Lawrence, 2012a), sistemas multitróficos para reducir nitritos y amonio del sistema (Liu *et al.*, 2014) y co-cultivos con macroalgas para reducir la mayoría de los nutrientes y la densidad de *Vibrio*, entre otros (Brito *et al.*, 2016).

En relación a los materiales plásticos para incrementar el área superficial del tanque de cultivo con la TBF, se ha encontrado que los sustratos no afectan la calidad del agua, principalmente del pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, amonio, nitritos y fosfatos. Por lo que se ha registrado que hay una actividad biológica que

the microbial community associated to suspended biofloc has higher effect on water quality of the system with BFT; a lower production of Ch-a in the systems with substrate was also found. However, it has been determined that due to the presence of the substrate, there is a tendency to increase the survival and growth of the shrimp (Schweitzer *et al.*, 2013b). The latter is due to the increase of the habitat for nitrifying bacteria in the artificial substrates, mainly responsible of around 31 % of the bacteria causing functioning of the biofloc (Otoshi *et al.*, 2006), as well as the increase in the superficial area of the system, the reduction of density of relative sowing and the decrease of stress in shrimp (Zhang, 2011).

The implementation of tanks of sedimentation in the effluent of the BFT systems is convenient, since a lower concentration of TSS, VSS, turbidity, nitrites, nitrates and orthophosphates is recorded in them, and also higher alkalinity and ammonium concentration than in system of rapid current channels where shrimp is cultured (Ray *et al.*, 2011). The latter indicates that denitrification occurs importantly in sedimentation tanks and alkalinity is increased in culture systems, reducing the use and improving water quality (mainly of TSS and ammonium) and aquaculture production (Ray *et al.*, 2011; Arantes *et al.*, 2016).

In *ex-situ* technology (bioremediation processes where waste is processed in the same site or outside the culture system before treatment), flocs have been used to remove solids and nitrates of aquaculture effluents (Kuhn and Lawrence, 2012b). In addition, removal of nitrates can be made under anoxic conditions and those systems can operate with only 1.0 mg L⁻¹ of oxygen, so they contribute to improve water quality.

The combination of the BFT system and integrated multi-trophic aquaculture (IMTA), which consist in using waste products of a certain species to feed a second species (Chopin, 2006), has proven to reduce nutrients, apart from having a synergic effect on the FCR, improving survival and production of shrimp. Apart from reducing significantly nitrites and ammonium from the IMTA system, and therefore improving water quality (Liu *et al.*, 2014).

When the BFT system is combined with marine macroalgae as *Gracilaria birdiae* (2.5 and 5.0 kg m⁻³) inorganic dissolved nitrogen is reduced (19 to 34 %), nitrates (19 to 38 %), ammonium and *Vibrio* density, causing an increase in the

no es significativa para el biofloc, mostrando que la comunidad microbiana asociada al biofloc suspendido tiene mayor efecto sobre la calidad del agua del sistema con TBF. Además, se ha encontrado una menor producción de Chl-a en los sistemas con sustrato. Sin embargo, se ha determinado que debido a la presencia del sustrato se tiende a incrementar la supervivencia y crecimiento del camarón (Schweitzer *et al.*, 2013b). Esto debido a que en los sustratos artificiales se incrementa el hábitat para las bacterias principalmente nitrificantes responsables de alrededor del 31 % de las bacterias causantes del funcionamiento del biofloc (Otoshi *et al.*, 2006); así como el incremento en el área superficial del sistema, la reducción de la densidad de siembra relativa y la disminución de estrés del camarón (Zhang, 2011).

La implementación de tanques de sedimentación en el efluente de los sistemas TBF son convenientes, ya que en ellos se registra una menor concentración de SST, SSV, turbidez, nitritos, nitratos y ortofosfatos, y una mayor alcalinidad y concentración de amonio que en el sistema de canales de corriente rápida donde se cultiva el camarón (Ray *et al.*, 2011). Lo anterior indica que la desnitrificación ocurre de una manera importante en los tanques de sedimentación y se incrementa la alcalinidad del sistema de cultivo, reduciendo el uso y mejorando la calidad del agua (principalmente los SST y el amonio) y la producción acuícola (Ray *et al.*, 2011; Arantes *et al.*, 2016).

En la tecnología de *ex-situ* (procesos de biorremediación donde se procesa el desecho en el mismo sitio o fuera del sistema de cultivo antes de su tratamiento), los flóculos se han utilizado para remover sólidos y nitratos de efluentes acuícolas (Kuhn y Lawrence, 2012b). Además, la remoción de los nitratos puede realizarse bajo condiciones anóxicas y estos sistemas pueden operar con tan solo 1.0 mg L⁻¹ de oxígeno, por lo que contribuyen a mejorar la calidad del agua.

La combinación del sistema TBF y la acuicultura multitrofica integrada (siglas en inglés IMTA) que consiste en que los productos de desecho de una especie son utilizados para alimentar una segunda especie (Chopin, 2006) ha demostrado reducir los nutrientes, además de que tiene un efecto sinérgico sobre el FCA, mejorando la supervivencia y producción del camarón. Además de reducir significativamente los nitritos y el amonio del sistema IMTA y por lo tanto mejorar la calidad del agua (Liu *et al.*, 2014).

Cuando se combina el sistema TBF con macroalgas marinas como *Gracilaria birdiae* (2.5 y 5.0 kg m⁻³) se reduce el nitrógeno inorgánico disuelto (19 a 34 %), los nitratos (19 a 38 %), el

growth and protein content of shrimp. An increase in alkalinity, nitrites and phosphates due to the presence of the macroalgae has also been detected (Brito *et al.*, 2016).

Finally, in general terms, high concentrations of pH, nitrites and TSS have been found to negatively affect shrimp growth in systems with BFT. Photosynthesis and breathing in the column do not have a significant effect on the productivity of the shrimp (Vinatea *et al.*, 2010).

Most researches on the BFT systems and the culture of white shrimp *L. vannamei* show that average concentration of variables que water quality mostly used are 26.5 °C of temperature, 18.6 g L⁻¹ of salinity, 7.5 mg L⁻¹ of dissolved oxygen, 465.5 mg L⁻¹ of TSS, 261.2 mg CaCO₃ L⁻¹ of alkalinity and 14.5:1 of the proportion C:N, with survival results from 0.0 % to 97.4 % and FCR of up to 4.8, with final weights of white shrimp from 3.12 g to 22.1 g (Table 1).

Conclusions

This review allows to conclude that the BFT system has an effect on water quality of shrimp culture that depends on environmental conditions, light intensity, type of carbon source used, TSS level, salinity, alkalinity, pH, type of phytoplankton and present bacterial groups, amongst other factors.

Due to TSS concentration being an indicator of processes of biological and physical treatment in the biofloc, because they are directly related with the microbiota, which constitutes it, and due to other factors: feed, carbon source, temperature, dissolved oxygen, carbonates, ammonium, nitrites and nitrates, reduction of the concentration of 600 to 1,100 mg L⁻¹ in the biofloc, it facilitates the metabolization of nitrogen and phosphorus, improves the conversion of feed, increases shrimp growth and by consequence, biomass.

The implementation of clarification, sedimentation and *ex-situ* strategies have shown their benefit in the removal of turbidity and TSS mainly, with a substantial improvement in the concentration and temporal variability of the other parameters of water quality, with the consequent improvement in the shrimp production. Regarding the age of the biofloc, it was found that in young biofloc predominate heterotrophic bacteria, and fungus in elder biofloc, and a relation between the evolution of the main groups of bacteria of biofloc and the nitrites, ammonium and Chl-a.

amonio y la densidad de *Vibrio*, ocasionando un aumento en el crecimiento y contenido proteico de los camarones. También, se ha detectado un aumento en la alcalinidad, nitritos y fosfatos por la presencia de la macroalga (Brito *et al.*, 2016).

Finalmente en términos generales se ha encontrado que las altas concentraciones de pH, nitritos y SST afectan el crecimiento del camarón negativamente en los sistemas con TBF. La fotosíntesis y la respiración en la columna no tienen un efecto significativo sobre la productividad de camarón (Vinatea *et al.*, 2010).

La mayoría de los trabajos sobre el sistema TBF y el cultivo del camarón blanco *L. vannamei* muestran que la concentración media de las variables de la calidad del agua más utilizadas son 26.5 °C de temperatura, 18.6 g L⁻¹ de salinidad, 7.5 mg L⁻¹ de oxígeno disuelto, 465.5 mg L⁻¹ de SST, 261.2 mg CaCO₃ L⁻¹ de alcalinidad y 14.5:1 de la proporción C:N, con resultados de supervivencia desde 0.0 % a 97.4 % y FCA de hasta 4.8, con pesos finales del camarón blanco de 3.12 g a 22.1 g (Tabla 1).

Conclusiones

Esta revisión permite concluir que el sistema TBF tiene un efecto sobre la calidad del agua del cultivo de camarón, que depende de las condiciones ambientales, intensidad de luz, tipo de fuente de carbono utilizado, nivel de SST, salinidad, alcalinidad, pH, tipo de fitoplancton y grupos de bacterias presentes, entre otros factores.

Debido a que la concentración de SST es un indicador de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico en el biofloc, porque están directamente relacionados con la microbiota que lo constituye y a su vez por otros factores: alimento, fuente de carbono, temperatura, oxígeno disuelto, carbonatos, amonio, nitritos y nitratos, la reducción de su concentración de 600 a 1,100 mg L⁻¹ en el biofloc, facilita la metabolización del nitrógeno y fósforo, mejora la conversión de alimento, incrementa el crecimiento del camarón y por consecuencia la biomasa.

La implementación de estrategias de clarificación, sedimentación y *ex-situ* han mostrado su beneficio en la remoción de turbiedad y SST principalmente, con una mejora sustancial en la concentración y variabilidad temporal de los demás parámetros de la calidad del agua, con la consecuente mejora en la producción del camarón. En relación a la edad del biofloc, se ha encontrado que en biofloc jóvenes predominan las bacterias heterotróficas y en los biofloc viejos los hongos, así como una relación entre la evolución de los principales grupos de bacterias del biofloc y los nitritos, el amonio y la Chl-a.

Table 1.
Parameters of water quality and performance of shrimp culture in studies with BFT.

Tabla 1.
Variabes de la calidad del agua y desempeño del cultivo de camarón en estudios con la TBF.

Parameter	Mean	Min-Max	Standard deviation	Recommended values
Temperature (°C)	26.4	19.1-33.8	10.3	25.0-33.0
Salinity (g L ⁻¹)	18.6	1.0-36.2	24.9	7.0-35.0
pH	7.8	6.3-9.3	2.1	7.0-8.0
Dissolved oxygen (mg L ⁻¹)	7.45	4.2-10.7	4.6	6.0-8.0
Total suspended solids (mg L ⁻¹)	465.5	8.0-9.0	647.0	200.0-600.0
Alkalinity (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	261.1	51.3-400.0	296.7	200.0
Total ammonia nitrogen (mg L ⁻¹)	7.50	0.0-15.0	10.6	1.0
NO ₂ (mg L ⁻¹)	5.06	0.01-10.1	7.1	0.6
NO ₃ (mg L ⁻¹)	56.90	0.6-113.2	79.6	3.0
PO ₄ (mg L ⁻¹)	66.10	0.3-131.9	93.0	2.0
C/N	14.4:1	8.9-20.0:1	7.8	15.0-20.0:1
Chl-a (mg m ⁻³)	0.25	0.01-0.49	0.34	0.30
Initial weight (g)	3.8	0.3-7.4	5.0	-
Final weight (g)	12.6	3.1-22.1	13.4	-
SGR: Specific growth rate (% day ⁻¹)	3.53	1.1-5.9	3.3	>2.5
FCR: Feed conversion ratio	3.0	1.2-4.8	2.5	1.7
Survival (%)	48.7	0.0-97.4	68.8	>60.0

The combination of systems of co-cultures, mix cultures and multi-trophic integrated aquaculture systems reduce with better efficiency the concentration of nitrites and ammonium in combination with the BFT, compared to performing independent from biofloc.

The most critical conditions that are present in the culture of white shrimp *L. vannamei* with biofloc system are in the combination of low salinity (2 to 4 g L⁻¹) with high levels of nitrites (>4 mg L⁻¹) in culture water.

Finally, a better understanding of the dynamic and the effect of the suspended particles, the processes for the optimal formation of flocs, determining the optimal concentration of bioflocs according to the used system in real time, the mechanisms to control and manage the composition of the biofloc community, the methods and strategies to measure the functionality of the biofloc

La combinación de sistemas de co-cultivos, cultivo mixtos y sistemas acuícolas multitróficos integrados, reducen con mayor eficiencia la concentración de nitritos y amonio en combinación con la TBF, en comparación de cuando se lleva a cabo independientes del biofloc.

Las condiciones más críticas que se presentan en el cultivo del camarón blanco *L. vannamei* con sistema biofloc, son en la combinación de baja salinidad (2 a 4 g L⁻¹) con altos niveles de nitritos (>4 mg L⁻¹) en el agua de cultivo.

Finalmente, se requiere entender mejor la dinámica y el efecto de las partículas suspendidas, los procesos para la formación óptima de los flóculos, determinar la concentración óptima de biofloc de acuerdo al sistema utilizado en tiempo real, los mecanismos para controlar y manejar la composición de la comunidad del biofloc, los métodos y estrategias de cómo medir la funcionalidad del sistema biofloc para la optimización de la pro-

system for the optimization of the production and disease control, the estimation of species balance mostly adequate to the system, how to rapidly establish a functional community of biofloc, the manipulation and optimization of the C:N proportion, and the potential of the combined strategies and integral systems with the biofloc in the shrimp culture is required. Hence, the development of BFT must be oriented to the optimization of the biofloc processes of the system, considering first the improvement of water quality, feed composition, effects on the immunity of shrimp, growth rates and some other desirable properties for the better functioning of commercial operations.

ducción y control de enfermedades, la estimación del balance de especies más adecuado para el sistema, cómo establecer de una forma rápida una comunidad funcional de biofloc, la manipulación y la optimización de la proporción C:N, y el potencial de las estrategias combinadas de especies y sistemas integrales con el biofloc en el cultivo de camarón. Por lo que, el desarrollo de la TBF deberá ser orientada a la optimización de los procesos del biofloc del sistema, considerando en primer instancia el mejoramiento de la calidad del agua, la composición del alimento, los efectos sobre la inmunidad del camarón, las tasas de crecimiento y algunas otras propiedades deseables para el mejor funcionamiento de las operaciones comerciales.

References

- Arantes, R., Schweitzer, R., Magnotti, C., Lapa, K.R. and Vinatea, L. 2016. A comparison between water exchange and settling tank as a method for suspended solids management in intensive biofloc technology systems: effects on shrimp (*Litopenaeus vannamei*) performance, water quality and water use. *Aquaculture Research* 47: 1-13. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/are.12984/epdf>
- Asaduzzaman, M., Rahman, M.M., Azim, M.E., Islam, M.A., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., et al. 2010. Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds. *Aquaculture* 306:127-136. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848610003650>
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176: 227-235. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484869900085X>
- Avnimelech, Y. 2012. Biofloc Technology - a practical guide book, 2nd edition Baton Rouge, Louisiana, USA The World Aquaculture Society, 182 pp.
- Avnimelech, Y., Kochba, M., Suryakumar, B. and Ghanekar, A. 2012. Nitrogen isotope: tool to evaluate protein uptake in biofloc systems. *Global Aquaculture Advocate* March/April: 74-75. <http://pdf.gaalliance.org/pdf/GAA-Avnimelech-Mar12.pdf>
- Azam F, Fenchel T, Field JG, Gray JS, Meyer-Reil LA, and Thingstad F. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 10:257-263. <http://www.int-res.com/articles/meps/10/m010p257.pdf>
- Baloi, M., Arantes, R., Schweitzer, R., Magnotti, C. and Vinatea, L. 2013. Performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. *Aquacultural Engineering* 52: 39-44. <http://www.comm.toronto.edu/~bkf/pessoal/2013c.pdf>
- Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Massachusetts U.S.A. Kluwer Academic Publisher, 700 pp. <http://www.springer.com/cn/book/9780412071812>
- Brito, L.O., Chagas, A.M., Da Silva, E.P., Soares, R.B., Severi, W. and Galvez, A.O. 2014. Water quality, *Vibrio* density and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in an integrated biofloc system with red seaweed *Gracilaria birdiae* (Greville). *Aquaculture Research* 47: 940-950. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/are.12552/epdf>
- Browdy, C.L., Hargreaves, J., Tung, H. and Avnimelech, Y. 2014. Proceedings of the biofloc technology and shrimp workshop. December 9-10, 2013, Ho Chi Minh City, Vietnam. The Aquaculture Engineering Society, Copper Hill, VA USA.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H. and Pearson, D.C. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219: 393-411. https://www.researchgate.net/profile/Michele_Burford/publication/222408222_Nutrient_and_microbial_dynamics_in_high-intensity_zero-exchange_shrimp_ponds_in_Belize/links/02e7e516a10cc69d31000000.pdf
- Cardona, E., Gueguen, Y., Magré, K., Lorgeoux, B., Piquemal, D., Pierrat, F., et al. 2016. Bacterial community characterization of water and intestine of the shrimp *Litopenaeus stylirostris* in a biofloc system. *BMC Microbiology* 16:1-9. <https://bmcmicrobiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12866-016-0770-z>

- Chávez-Sánchez, M.C., Hernández-Martínez, M., Abad-Rosales, S., Fajer-Avila, E., Montoya-Rodríguez, L. and Álvarez-Torres, P. 2002. A survey of infectious diseases and parasites of penaeid shrimp from the Gulf of Mexico. *Journal of the World Aquaculture Society* 33: 316-329. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00508.x/epdf>
- Chen, S., Ling, J. and Blancheton, J.P. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering* 34: 179-197. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905001263>
- Chopin, T. 2006. Integrated multi-trophic aquaculture. What it is and why you should care and don't confuse it with polyculture. *Northern Aquaculture* 12: 4. <http://www2.unb.ca/chopinlab/articles/files/Northern%20Aquaculture%20IMTA%20July%2006.pdf>
- Collazos-Lasso, L.F. and Arias-Castellanos, J.A. 2015. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia* 19(1): 77-86. <http://www.redalyc.org/pdf/896/89640816007.pdf>
- Colt, J. and Armstrong, D. 1981. Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and molluscs. Bio-engineering Symposium for Fish Culture. American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 34-47. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19830934222>
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270: 1-14. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848607004176>
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B. and Bisogni, J.J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257(1-4): 346-358. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484860600216X>
- Emerenciano, M., Cuzon, G., Goguenheim, J. and Gaxiola, G. 2012. Aquacop. Floc contribution on spawning performance of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. *Aquaculture Research* 44(1): 75-85. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2109.2011.03012.x/abstract>
- Esparza-Leal, H.M., Xavier, J.A. and Wasielesky, W. 2016. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks under biofloc conditions at different salinities and zero-water exchange. *Aquaculture International* 24(5): 1435-1447. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-016-0001-5>
- Furtado, P.S., Gaona, C.A.P., Serra, F.P., Poersch, L.H. and Wasielesky, W.J. 2012. Avaliação dos níveis de dióxido de carbono dissolvido em cultivo de *Litopenaeus vannamei* com tecnologia de bioflocos. FENACAM. 2012. Junho 11-14; Fortaleza, Brasil.
- Gaona C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K. and Wasielesky, W.J. 2011. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. *International Journal of Recirculating Aquaculture* 12: 54-73. <https://ejournals.lib.vt.edu/ijra/article/view/1354/1846>
- Ju, Z.Y., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W., Kuo, W.C. and Horgen, F.D. 2008. Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. *Aquaculture Research* 39: 118-133. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2109.2007.01856.x/abstract>
- Kuhn, D. and Lawrence, A. 2012a. Biofloc technology options for aquaculture in-situ, ex-situ systems improve water quality, provide nutrition. *Global Aquaculture Advocate* July/August: 20-21. <http://pdf.gaalliance.org/pdf/GAA-Kuhn-July12.pdf>
- Kuhn, D. and Lawrence, A. 2012b. Ex-situ biofloc technology. Pp. 217-230. In Avnimelech, Y. Biofloc Technology - a practical guide book, 3ra. edition, Baton Rouge, Louisiana, USA: Ed. The World Aquaculture Society. <http://www.was.org/shopping/biofloc-technology-a-practical-guidbook-3rd-edition>
- Liu, L., Hu, Z., Dai, X. and Avnimelech, Y. 2014. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. *Aquaculture* 418-419: 79-86. <https://www.infon.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-8853c2b9-a26d-3da1-8b9b-dc4b9f483455>
- Emerenciano, M., Gaxiola, G. and Cuzon, G. 2013. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. Pp. 301-328. In: Darko-Matovic, M. "Biomass Now - Cultivation and Utilization", Rijeka Croatia: Ed. INTECH Open Science. https://www.researchgate.net/publication/288922874_Biofloc_Technology_BFT_A_Review_for_Aquaculture_Application_and_Animal_Food_Industry
- Morán, X.A.G., Bode, A., Calvo-Díaz, A., Díaz-Pérez, L., Suárez, L.A., Nogueira, E. et al. 2012. Picoplancton autotrófico y heterotrófico. Pp.159-176. In: Bode A., Lavín, A., Valdés, L. Cambio climático y oceanográfico en el

- Atlántico del norte de España. Chapter: 5, Ed. Instituto Español de Oceanografía. <http://www.repositorio.ieo.es/e-ieo/handle/10508/4234>
- Neal, R.S., Coyle, S.D., Tidwell, J.W. and Boudreau, B.M. 2010. Evaluation of stocking density and light level on the growth and survival of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in zero-exchange systems. *Journal of the World Aquaculture Society* 41: 533-543. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-7345.2010.00393.x/full>
- Otoshi, C.A., Arce, S.M. and Moss, S.M. 2003. Growth and reproductive performance of broodstock shrimp reared in a biosecure recirculating aquaculture system versus a flow-through pond. *Aquacultural Engineering* 29: 93-107. <http://www.aquaculture.ugent.be/Services/news/2003/nl187/a15.htm>
- Otoshi, C.A., Montgomery, A.D., Matsuda, E.M. and Moss, S.M., 2006. Effects of artificial substrate and water source on growth of juvenile pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 37: 210-213. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-7345.2006.00029.x/full>
- Pasco, M.J. 2015. Aeração em cultivos superintensivos de tilápias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água. Tese Doutorado em aquicultura. Universidade Federal De Santa Catarina, Centro De Ciências Agrárias Departamento De Aquicultura, Florianópolis. Brasil.
- Piérri, V. 2012. Efeito da alcalinidade sobre o cultivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos. Tese de Mestrado, Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis, Brasil.
- Rajkumar, M., Pandey, P.K., Aravind, R., Vennila, A., Bharti, V. and Purushothaman, C.S. 2015. Effect of different biofloc system on water quality, biofloc composition and growth performance in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture Research* 47(11): 3432-3444 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/are.12792/full>
- Ramette A. 2007. Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiology Ecology* 62(2):142-60. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1574-6941.2007.00375.x/abstract>
- Ray, A.J. and Lotz, J.M. 2014. Comparing a chemoautotrophic-based biofloc system and three heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate sources. *Aquacultural Engineering* 63: 54-61. https://www.researchgate.net/publication/268684977_Comparing_a_chemoautotrophic-based_biofloc_system_and_three_heterotrophic-based_systems_receiving_different_carbohydrate_sources
- Ray, A.J., Dillon, K.S. and Lotz, J.M. 2011. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering* 45:127-136. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860911000641>
- Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L. and Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture* 299: 89-98. <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/suspended-solids-removal-to-improve-shrimp-litopenaeus-vannamei-77BH50o8BR>
- Samocha, T.M., Patnaik, S., Speed, M., Ali, A.M., Burger, J.M., Almeida, R.V., et al. 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering* 36: 184-191. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486090600094X>
- Schveitzer, R., Arantes, R., Costódio, P.F.S., Santo, C.M.D.E., Vinatea, L., Seiffert, W.Q., et al. 2013a. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering* 56: 59-70. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860913000423>
- Schveitzer, R., Arantes, S., Baloi, M.F., Costódio, P.F.S., Vinatea, L., Seiffert, W.Q., et al. 2013b. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (biofloc system) at different stocking densities: effects on microbial activity, water quality and production rates. *Aquacultural Engineering* 54: 93-103. https://www.researchgate.net/publication/256974162_Use_of_artificial_substrates_in_the_culture_of_Litopenaeus_vannamei_Biofloc_System_at_different_stocking_densities_Effects_on_microbial_activity_water_quality_and_production_rates
- Suita, S.M. 2009. O uso da Dextrose como fonte de carbono no desenvolvimento de bioflocos e desempenho do camarão-branco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado em sistema sem renovação de água. Tese de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Vinatea, L., Galvez, A.O., Browdy, C.L., Stokes, A., Venero, J., Haveman, J., et al. 2010. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water

- exchange: interaction of water quality variables. *Aquacultural Engineering* 42: 17-24. https://www.researchgate.net/profile/Luis_Vinatea/publication/229252260_Photosynthesis_water_respiration_and_growth_performance_of_Litopenaeus_vannamei_in_a_super-intensive_raceway_culture_with_zero_water_exchange_Interaction_of_water_quality_variables/links/54805ccf0cf25b80dd716a68.pdf?disableCoverPage=true
- Xu, W.J. and Pan, L.Q. 2012. Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. *Aquaculture* 356-357:147-152. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848612003122>
- Xu, W.J., Pan, L.Q., Zhao, D.H. and Huang, J. 2012. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture* 350-353: 147-153. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848612002074>
- Xu, W.J., Pan, L.Q., Sun, X.H. and Huang, J.H. 2013. Effects of bioflocs on water quality, and survival, growth and digestive enzyme activities of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture Research* 44: 1093-1102. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2109.2012.03115.x/epdf>
- Zhang, B., 2011. Influence of the artificial substrates on the attachment behavior of *Litopenaeus vannamei* in the intensive culture condition. *International Journal of Animal and Veterinary Advances* 3(1): 37-43. <http://www.maxwellsci.com/jp/abstract.php?jid=IJAVA&no=91&abs=10>

Cite this paper/Como citar este artículo: Mendoza-López, D.G., Castañeda-Chávez, M.R., Lango-Reynoso, F., Galaviz-Villa, I., Montoya-Mendoza, J., Ponce-Palafox, J.T., Esparza-Leal, H.M., Arenas-Fuentes, V. (2017). The effect of biofloc technology (BFT) on water quality in white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture: A review. *Revista Bio Ciencias* 4(4), 15 pages, Article ID: 04.04.01. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/271/286>

