



EL BIOFLOC COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN LA PISCICULTURA: UNA REVISIÓN

BIOFLOC AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE IN FISH FARMING: A REVIEW

Juan Sebastian Klinger García ^a, <https://orcid.org/0000-0002-5571-2633>

Alvaro Javier Burgos Arcos ^b, <https://orcid.org/0000-0001-7329-8766>

^a Ingeniero en Producción Acuícola, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. bastian-7@hotmail.com

^b Zootecnista, MSc, PhD Biotecnología, Profesor, Departamento de Recursos Hidrológicos, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. abjar11963@gmail.com

Recibido: 24-04-2019

Aceptado: 15-05-2019

RESUMEN

En la práctica de la producción piscícola, bajo los sistemas de cultivos convencionales, se presenta un cuello de botella al utilizar grandes volúmenes de agua, el cual es un recurso que al pasar el tiempo su disponibilidad es cada vez más limitada, además de aumentar la contaminación por parte de los vertimientos y aumento en el costo de producción por alimento no consumido. Por lo anterior la búsqueda de nuevas posibilidades de producción piscícola más amigables con el ambiente, socialmente incluyentes y rentables, es cada vez más indispensable. Una de las alternativas que empiezan a cautivar el interés de los piscicultores es el sistema de producción súper-intensivo con tecnología Biofloc (BFT), la cual se sustenta en aprovechar la acumulación de residuos de los alimentos, materia orgánica y compuestos inorgánicos tóxicos a través de microorganismos presentes en los medios acuáticos y la utilización de pequeñas áreas de terreno. En el presente trabajo se realiza una revisión acerca de la tecnología del Biofloc como una alternativa sustentable para la producción acuícola.

Palabras clave: tecnología biofloc, residuos ambientales, microorganismos

ABSTRACT

In the practice of fish production, under conventional crop systems, there is a bottleneck when using large volumes of water, which is a resource that, overtime its availability is increasingly limited, in addition to increasing contamination by the discharges and increase in the cost of production for food not consumed. Therefore, the search for new fish production possibilities more friendly to the environment, socially inclusive, and profitable, it is increasingly indispensable. One of the alternatives that begin to captivate the interest of fish farmers is the super-intensive production system with Biofloc technology (BFT), which is based on taking advantage of the accumulation of food waste, organic matter, and toxic inorganic compounds through microorganisms present in aquatic environments and the use of small areas of land. In the current work, a review is made about Biofloc technology as a sustainable alternative for aquaculture production.

Keywords: biofloc technology, environmental waste, microorganisms.

INTRODUCCIÓN

El continuo desarrollo de la acuicultura mundial como productora de alimentos de alta calidad, requiere de nuevas estrategias y alternativa para alcanzar la sostenibilidad. El incremento de la demanda por alimentos de origen acuático ha llevado a la intensificación de las densidades de cultivos acuícolas, lo que acarrea serias implicaciones ambientales por los efluentes que se generan. Los sistemas basados en consorcios de microorganismos representan una de las estrategias más viables para una producción acuícola amigable con el ambiente ^[1]. La tecnología Biofloc (BFT) es una de las alternativas innovadoras para la gestión de desechos y retención de nutrientes que ofrece una solución para resolver los problemas ambientales acuícolas ^[2]; el Biofloc es una técnica de mejora de la calidad del agua a través de un sistema de balance de carbono y nitrógeno debido a que permiten convertir estos compuestos en nutrientes para los peces.

En un contexto nacional la producción piscícola en Colombia ha tenido un crecimiento promedio anual desde 1990 del 12%, llegando en el 2011 a 74.270 Tn, de las cuales 99,9% provienen de la piscicultura continental, siendo las tilapias las más producidas con un 65 %, seguido por la cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) con un 21%, de estos datos el 66% del volumen total de producción corresponden a cultivos semi-intensivos en estanques en tierra y 34% cultivos intensivos en jaulas ^[3]; cifras que demuestran la urgente necesidad de satisfacer la demanda de pescado con sistemas que no causen mayor daño al medio ambiente.

En este sentido, el aumento de la producción de peces en Colombia, como en el resto del mundo, también ha generado crecientes problemas, el principal de ellos la eutrofización por descargas de nutrientes, componentes orgánicos e inorgánicos (amonio, fósforo, materia orgánica, carbono orgánico disuelto y sólidos suspendidos), los que son responsables de la polución, la nitrificación y el enterramiento de comunidades bentónicas en los ecosistemas receptores ^[1]. Adicionalmente, la piscicultura en

Colombia genera un conflicto relacionado con el uso de grandes volúmenes y cuerpos de agua con producciones irregulares y relativamente bajas por unidad de volumen, aspecto ambientalmente adverso que unido a la pérdida creciente de oferta de agua nacional vuelven los sistemas piscícolas extremadamente frágiles.

En los últimos años, Colombia ha implementado un estricto marco jurídico en materia de protección y preservación de los recursos naturales; la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), en el Decreto 1076 de 2015 se considera el permiso para realizar la disposición final de los residuos líquidos generados en desarrollo de una actividad o servicio, los cuales generan un vertimiento a las aguas superficiales. Por lo anterior, en el mundo se han implementado nuevas formas de producción más amigables con el ambiente (menos contaminantes y más ahorradoras de agua entre otras propiedades), estas tecnologías recientes irrumpen en Colombia de manera prometedora, porque además presentan mayor eficiencia productiva, aunque de ellas se conozca todavía poco de los aspectos técnicos y de otros aspectos importantes para esos sistemas, como la composición y acción de los consorcios microbianos. ^[4]

Por otra parte, el BFT ha recibido una variedad de denominaciones como lodo activo o sistema bacteriano suspendido ^[5], sistema de producción de proteínas unicelulares ^[6], sistemas de crecimiento suspendido ^[7] o sistemas de flóculos microbianos ^[8, 9]. Sin embargo, los investigadores están tratando de mantener el término "BFT o tecnología de biofloc" para establecer una referencia clave. Además, BFT se ha centrado en la investigación intensiva en el campo de la nutrición como fuente de proteínas en alimentos compuestos. Dicha fuente se produce en forma de "harina de biofloc", principalmente en biorreactores ^[10]. Además, la rápida expansión y la gran cantidad de granjas de BFT en todo el mundo, indujeron un esfuerzo de investigación significativo de los procesos involucrados en sistemas de producción de BFT. ^[8]

Esta revisión pretende presentar diferentes puntos de vista, en los aspectos productivos y ambientales (Mantenimiento del sistema con residuos del procesamiento acuícola, residuos orgánicos y agrícolas) y realizar un análisis

acerca de las estrategias utilizadas para el cultivo de variadas especies y diferentes fuentes de carbono, empleadas como fuente de energía para propiciar la proliferación del componente bacteriano.

REVISIÓN DE LA TEMÁTICA

Generalidades de la tecnología Biofloc (BFT)

Esta tecnología es el conjunto de bioflóculos formados por consorcios de bacterias protozoos, fitoplancton y zooplancton ^[11]. Este medio se genera en un tanque con su preparación del agua previa a la siembra en donde se añaden ciertas sustancias en la preparación del agua tales como sales de amonio, materias primas alimenticias pulverizadas como salvado de trigo o arroz, melaza, bicarbonato sódico ^[12, 13]; con estos componentes ciertas bacterias nitrificantes y heterótrofas se multiplican rápidamente. Al aumentar su número comienzan a unirse entre ellas, esta unión es favorecida por exopolisacáridos pegajosos que segregan, a esa aglomeración de bacterias y se unen a microalgas, restos de materia orgánica y zooplancton; así todo ello forma unos aglomerados de microorganismos que se conocen como bioflóculos ^[14]. Una vez se llenan los tanques, es importante resaltar que no hay renovación, sino reutilización del agua. La única pérdida de agua es por evaporación, normalmente un 2% diario en días calurosos y también por sifonado del tanque. El agua de biofloc contiene microorganismos los cuales son el motor de esta tecnología, si se presenta desecho del agua se está desperdiciando dinero y flóculos que suponen son la una maquinaria biológica para el cultivo.

Con respecto a la acuicultura tradicional, la BFT puede suponer un 95% de ahorro de agua, por tanto, este hecho es importante en lugares con escaso recursos hídricos. Debido al poco espacio que utiliza, los bajos volúmenes de agua requeridos en la producción, el ahorro de alimento y la no utilización de productos químicos entre otros hacen de esta tecnología una práctica respetuosa con el ambiente, añadiendo que de esta manera los cultivos acuícolas realizados con biofloc son susceptibles de conseguir fácilmente certificaciones y sellos de productos verdes o ecológicos. Este hecho abre las

puertas de los mercados verdes a productores en acuicultura.

La actividad del componente microbiano.

Estos bioflóculos se encargan de limpiar el agua de sustancias perjudiciales tal como el amonio, nitratos y restos de materia orgánica convirtiéndola en alimento para diferentes especies como el camarón, tilapia, bagre o cualquier otra especie que sea cultivada, estos compuestos tendrán efectos en variables como parámetros fisicoquímicos y crecimiento. ^[15, 16]

El cultivo de camarón en biofloc ha demostrado numerosos beneficios, como la mejora de la tasa de crecimiento, la disminución de la tasa de conversión alimenticia y los costos ligados a la alimentación ^[17]; el aumento del crecimiento se ha atribuido tanto a los componentes nutricionales de las bacterias como a los de las algas, por lo que se puede reducir la ración de alimentación convencional hasta en un 30%, debido al consumo de biofloc en los camarones ^[18]. Dicho lo anterior, BFT ha impulsado oportunidades para utilizar dietas alternativas. Los alimentos bajos en proteínas y los alimentos con fuentes de proteínas alternativas diferentes a los productos marinos, se han aplicado con éxito en BFT, lo que brinda oportunidades de mercado "verdes" ^[13, 19]; donde su principal exigencia es que el producto a comercializar haya generado impactos mínimos en el medio ambiente.

Un estudio ^[20] reveló que el contenido de proteínas en los alimentos granulados se puede reducir cuando los camarones son criados en un entorno basado en biofloc. La BFT ha surgido como fuente de proteína suplementaria para dietas compuestas, provenientes de su diversa microbiota; es así como en un sistema de FBT, con una dieta óptima, los nivel de proteína contenidos de alrededor del 32% o menos, no comprometen el aumento de

Revisión literaria

peso, supervivencia y mejora de la inmunidad del camarón; la anterior consideración implica menores probabilidades de desperdicio de biomoléculas nutritivas que generen mayores niveles de eutrofización

Aplicación de diferentes fuentes de carbono amigables con el ambiente

Típicamente para los sistemas basados en BFT, uno de los principales conceptos para mantener un sistema de cultivo equilibrado con respecto a pH y oxígeno disuelto es la relación Carbono/Nitrógeno (C/N), dentro de la cual la proporción más aconsejable es de 15/1, mientras que en la mayoría de los alimentos artificiales esta alrededor de 10/1; normalmente se han utilizado como fuente de carbono para los sistemas de biofloc carbohidratos como glucosa, glicerol, almidón de maíz, sacarosa, melaza, harina de tapioca y harina de arroz. ^[21]

En efecto, la adición de fuentes de carbono generalmente requiere de varios días, lo que generalmente conlleva el riesgo de sobredosificación y pueden resultar en una concentración repentina y temporal de bajo contenido de oxígeno disuelto (OD). Sin embargo, existen diferentes fuentes sólidas de carbono, más amigables con el ambiente, como son los polímeros biodegradables que pueden ayudar a evitar la dosificación incorrecta y reducir tiempos de supervisión, control y monitoreo.

En el caso del cultivo de tilapia nilótica, en la referencia ^[22] se utilizaron tres compuestos biodegradables, polvo Logan (LP), Polihidroxibutirato-hidroxivalerato (PHBVL) y polibutileno succinato (PBSL) como fuente de carbono sólido; durante el experimento de 120 días la relación C/N se mantuvo en $24,87 \pm 5,66$, $22,93 \pm 3,20$ y $23,12 \pm 3,54$ para los grupos LP, PHBVL y PBSL respectivamente. Los grupos LP, PHBVL y PBSL podrían cumplir con los requisitos para alimentar las bacterias acuáticas; además, demostraron que la fuente de carbono sólido no solo tenía un efecto significativo en la comunidad microbiana en BFT, sino también en la composición de la microbiota intestinal del animal. El tipo de bacterias “bacillus” fue el género dominante descubierto en todos los tratamientos (48,34% LP, 49,24% PHBVL y 50,47% PBSL).

Ahora bien, la manipulación de las relaciones C/N son una forma práctica para reducir la acumulación de amonio no ionizado (NH_3), lo cual es la representación del nitrógeno tóxico para los peces y se convierten en un factor limitante para el crecimiento y sobrevivencia de estos en cultivo, así removerlo o transformarlo en nitrógeno no tóxico es esencial cuando se pretende aumentar la biomasa del sistema y disminuir los riesgos.

En un estudio ^[23] se utilizó como fuentes de carbono poli- β -hidroxibutírico (PHB), policaprolactona (PCL) y glucosa (GLU) como fuente típica para la transformación del amonio no ionizado a su forma no tóxica en el cultivo de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). El estudio demostró que la tasa de nitrificación del biofloc en el grupo de PCL ($81,46 \text{ mg de NH}_4 \text{ d}^{-1}$) fue el más alto de los tres grupos, pero la tasa de asimilación de NO_3 y NH_4 , en el grupo GLU fue de $83,40 \text{ mg NH}_4 \text{ d}^{-1}$ y $772,67 \text{ mg NO}_3 \text{ d}^{-1}$, respectivamente, y la tasa de desnitrificación ($961,33 \text{ mg NO}_3 \text{ d}^{-1}$) fue el más alto entre los grupos. Por otro lado, el análisis evaluado por la secuenciación “Illumina MiSeq” (Instrumento para realizar análisis genéticos) reveló que la comunidad bacteriana era similar entre los tres grupos, aunque no todos los parámetros eran mejores que la glucosa por lo tanto la glucosa aun es considerada preferible debido a una mayor comodidad, no obstante en esta investigación se postula que estos dos biopolímeros (PHB y PCL) son favorables y convenientes carbohidratos externos para sistemas de acuicultura de tilapia basados en biofloc.

De esta manera, como se observa en estos estudios, la práctica de esta tecnología puede juntar la reutilización de materiales de desperdicio transformados con el fin de mantener un equilibrio entre la comunidad microbiana y las variables de calidad del agua para la producción de especies ícticas.

Estas prácticas de cultivo con diferentes fuentes de carbono también son aplicadas a especies como el camarón, en el estudio ^[24] se demostró que estas fuentes influyen de manera considerablemente significativa en el crecimiento de juveniles de camarón blanco y otras variables zootécnicas, las fuentes de carbono fueron: C1 (harina de maíz), C2 (harina de trigo), C3 (harina gramina), C4 (harina de mijo), C5 (Harina de arroz), C6 (harina de maíz),

C7 (melaza), C8 (harina multigrano) y C0 (control). Los camarones criados en los tratamientos C8, C7 y C4 tuvieron un crecimiento, tasa de supervivencia y resistencia a la enfermedad similares y fueron significativamente más altos ($p < 0,05$) que otros tratamientos incluyendo el control. En cuanto a los efectos inmunes, el estudio de expresión génica reveló que el recuento total de hemocitos (THC) y la actividad de la propenoxidasa (ProPO) mostraron niveles significativamente más altos en los grupos de tratamiento con biofloc. Estos resultados sugieren que la harina de mijo y la harina multigrano pueden reemplazar a la melaza como la fuente de carbohidratos para el sistema de biofloc y este puede ofrecer un mayor crecimiento, supervivencia e inmunomodulación que el tratamiento control.

Estas aplicaciones de varios productos de carbono se emplean con el fin de buscar una fuente alternativa energética para las bacterias, que se traduzcan en términos de rentabilidad sin que afecten el rendimiento del crecimiento en el camarón. Durante la última década, la producción de *L. vannamei* en sistemas BFT de alta densidad ha hecho grandes progresos [25]; sin embargo, se han realizado pocos estudios con fines económicos para determinar una relación C/N óptima y un tipo de alimentación adecuada para el cultivo de *L. vannamei* a altas densidades [26, 27]. La evaluación el efecto de dos alimentos comerciales [28], un alimento menos costoso (US \$ 0,99 kg⁻¹) formulado para sistemas de producción semi-intensivos, y el más caro (US \$ 1,75 kg⁻¹) diseñado para sistemas hiperintensivos junto con cuatro relaciones C/N diferentes (12:1, 15:1, 18:1 y control). La fuente de carbono orgánico utilizada fue melaza. Los autores demostraron que el análisis de la alimentación y los costos variables sugieren mejores beneficios económicos cuando se utiliza el alimento menos costoso (US \$ 0,99 kg⁻¹) en las condiciones de este estudio. Además, los costos de los insumos podrían reducirse utilizando una relación C/N de 12:1 debido principalmente a la reducción de melaza y al uso de bicarbonato de sodio.

Es así como la BFT es una forma de producción en acuicultura súperintensiva, que se desarrolla dinámicamente en la actualidad, pues resulta ser capaz de enfrentar retos propios de la actividad,

como el aumento de la biomasa por volumen de agua y la utilización cada vez más reducida del agua, el desafío en concreto es producir más en menos volumen de agua y al menor costo ambiental posible, es decir en el marco de los paradigmas de sostenibilidad

Aplicaciones en la Acuicultura.

El BFT engloba una mezcla heterogénea de diatomeas, bacterias nitrificantes, alimentos, restos fecales, invertebrados y otros organismos microscópicos, ahora bien, al aplicar esta comunidad microbiana a especies filtradoras de interés comercial en sus primeras etapas de cultivo, se han logrado buenos resultados ya que esta tecnología no solo es rica en varios compuestos bioactivos, sino que también se ha comprobado que son fuentes de proteínas sostenibles de alimentos acuáticos [29]; una de las especies prometedoras en este tipo de cultivos es la tilapia, ya que resiste gran cantidad de materia orgánica, altas densidades de siembra y un alto índice de ganancia de peso diario. Con el pasar del tiempo se han venido realizando estudios sobre las consecuencias que tendría la producción de tilapia en BFT desde etapas de cultivo tempranas ya que los sistemas de biofloc pueden ser más ventajosos en estas edades.

También se investigó el efecto que tiene mantener larvas de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en BFT [30]. En cuanto a la supervivencia, los autores demostraron que el porcentaje más alto lo obtuvieron las larvas de origen BFT (90-98%) en comparación de las larvas de origen control (67-75%). El crecimiento de las larvas no pareció verse afectado por el origen (BFT o Control) o el alojamiento de las larvas, aunque esta variable pareció ser más uniforme cuando las larvas se alojaron en agua BFT.

Otros autores [31] evaluaron el efecto de diferentes momentos de la transferencia de alevines de tilapia del Nilo al sistema de biofloc. El estudio sugiere que los alevines de tilapia del Nilo deben pasar al sistema de biofloc a un peso de 1,4 g y que no requieren un cultivo previo en otro tipo de sistema, además los mismos autores demostraron que esa transición tuvo un efecto positivo en la composición corporal de los ejemplares, atribuyendo a

Revisión literaria

estos una mayor cantidad de lípidos. Por todo esto, la BFT brinda una ventaja obvia de reciclar los nutrientes “in situ” y la materia orgánica, minimizar el consumo y la liberación de agua, además se reduce la introducción de patógenos, mejorando la bioseguridad de la granja.

Ahora bien, con respecto a la gestión de cultivo de postlarvas de camarón blanco, uno de los procedimientos de gestión más importantes está relacionado con el rendimiento del crecimiento en dicha etapa de cultivo ^[32], se observó un crecimiento de 11,5 mm de longitud y un peso seco de 1,2 mg cuando los ejemplares fueron criados en tanques de biofloc inoculados con la diatomea *C. muelleri*.

Por otra parte, refiriéndose a la densidad de siembra ^[33], se detectó una intensificación en el cultivo en vivero de BFT de *Litopenaeus vannamei* hasta 350 larvas por litro de agua. Los autores señalan que el manejo de esta densidad trae como resultado índices de producción adecuados (0,19±0,01 mg de peso seco; 6,32±0,25 mm de longitud) y calidad del agua apropiada durante la etapa de cultivo en mysis 1 a post-larva 5, lo que permite una mayor producción en espacio reducido, haciendo un uso eficiente del agua sin generar vertimientos perjudiciales que generen problemas ambientales como la alteración en las fuentes hídricas y problemas de salud como enfermedades digestivas, presencia de vectores (moscas, zancudos) que en forma acumulativa se convierten en impactos significativos de las comunidades aledañas, a la salud y al ambiente.

Otro estudio considera que las relaciones C/N (15/1 y 20/1) tuvo un impacto significativo ($p < 0,05$) en el desarrollo y las características del sistema de biofloc ^[34]. En la investigación se evidencia que estas relaciones podrían reducir significativamente los niveles de nitrógeno amoniacal total, los nitritos y los nitratos (0,456±0,01, 0,145±0,09 y 0,102±0,02 ppm, respectivamente) en comparación con el control (1,45±0,1, 0,749±0,14 y 0,675±0,16 ppm) en el cultivo de *L. vannamei*. Es así que el BFT en la práctica consiste en el manejo de las comunidades microbianas acompañado de un suplemento energético obte-

nido de diferentes fuentes de carbono con sus respectivas proporciones C/N, ello es lo que determina el éxito del sistema basado en la transformación de los compuestos nitrogenados en el agua.

Una de las últimas aplicaciones novedosas de esta tecnología en la producción de especies acuícolas es el cultivo del pepino de mar en BFT, la escala de cultivo de esta especie se ha expandido rápidamente en las últimas décadas debido a la sobrepesca de recursos naturales y al aumento de la demanda del mercado, dicho lo anterior, se han aplicado varias estrategias para seleccionar una dieta confiable con el fin de garantizar rentabilidad. Se llevó a cabo un experimento de 60 días para evaluar la capacidad de reemplazo dietético de macroalgas (*Sargassum thunbergii*) con BFT como ingrediente en la dieta del pepino de mar (*Apostichopus japonicus*) ^[35]. Se formuló siete dietas, las cuales contenían niveles graduados de biofloc del 0%, 5%, 10%, 20%, 30%, 45% y 60% (referidos como B0, B5, B10, B20, B30, B45 y B60, respectivamente). Se mantuvo la relación C:N a 10:1 para convertir eficientemente nitrógeno inorgánico en proteína microbiana, usando sulfato de amonio como fuente de nitrógeno y harina de trigo como fuente de carbono. Los niveles de biofloc recomendados fueron del 20% y 30% (B20 y B30) en la dieta para el cultivo del pepino de mar, estos porcentajes mejoraron significativamente las actividades de las enzimas digestivas que podrían haber estimulado la digestión y la absorción de nutrientes para mantener un crecimiento más rápido. Estos hallazgos sugirieron que el exceso de biofloc en la dieta (B60) podría resultar en un ligero efecto de retraso del crecimiento del pepino de mar.

Dicho lo anterior, considerando ahora que el biofloc no es rico en varios compuestos bioactivos, sino que también se ha comprobado que son fuentes de proteínas sostenibles de alimentos acuáticos. De acuerdo con estudios realizados ^[36] la tecnología biofloc mejora el crecimiento y la salud fisiológica de *A. japonicus*, optimiza la microbiota intestinal, fortalece la capacidad antioxidante, aumentar la respuesta inmune contra infecciones y la resistencia a la enfermedad contra patógenos.

CONCLUSIONES

La aplicación de la tecnología Biofloc tiene numerosos beneficios para el medio ambiente y la eficiencia de los acuacultivos. Uno de los más importantes es que se trata de una tecnología donde no hay recambio de agua. Esto quiere decir que se reduce considerablemente el consumo de este preciado recurso y a su vez el vertido de agua contaminada al medio.

Por otra parte, se trata de un cultivo en donde existe una acción probiótica por parte de microorganismos beneficiosos que rigen y controlan el sistema, esto evita el tener que utilizar medicamentos, hormonas y otras sustancias químicas que terminan en el medio natural. A su vez la tecnología biofloc necesita de muy poca superficie ya que se trata de cultivos súper intensivos, esto hace que no

se ocupe grandes superficies de tierra. Esta tecnología no sólo es amigable con el ambiente, sino que puede generar menores costos de producción.

Es importante considerar que la tecnología biofloc (BFT) no acorta el tiempo de maduración del cultivo, pero si produce mayor cantidad de peces en comparación con otros sistemas.

BFT es una tecnología de manejo técnico para el control de variables físico-químicas, ya que requiere de la medición de algunos parámetros de manera constante, como el pH, amonio, nitratos, salinidad, alcalinidad, producción de flóculos, temperatura, entre otros ya que deben ser analizados y controlados según la especie cultivada. Es por ello que se debe contar con personal capacitado para el manejo de los sistemas acuícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Martínez C L R, Martínez P M, López E J A, Campaña T C A, Miranda B A, Ballester E. Alimento natural en acuicultura: una revisión actualizada. En: Cruz-Suarez L E, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Nieto-López M G, Villarreal-Cavazos D A, Gamboa-Delgado J (Eds). Avances en nutrición Acuícola X. Memorias del X Simposio Internacional de Alimento natural en acuicultura: Nutrición Acuícola, 8-10 de noviembre. San Nicolás de los Garza, N. L., Monterrey, México, Universidad Autónoma de Nuevo León; 2015. pp. 668-699. ISBN 978-607-433-546-0.
- [2] Harnjalee B, Madhusoodana K, Varghese J T, Schrama J W, Verdegem M C J. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*. 2015; 241: 179-194.
- [3] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Bogotá, Colombia, AUNAP; 2013.
- [4] Atencio V, Pertuz B V, Bru C S, Ayazo G J. Curso teórico - práctico tecnología de cultivo biofloc: Fundamentos y manejo. Montería, Colombia, Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC); 2013.
- [5] Rakocy E, Bailey D, Thoman E, Shultz R. Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial based treatment process: new dimensions in farmed tilapia In: Bolivar R, Mair G, Fitzsimmons K (Editors). Proceedings of the Sixth International Symposium on tilapia in aquaculture. 2014; 584-596.
- [6] Avnimelech Y, Mokady S, Schoroder G. Circulated ponds as efficient bioreactors for single cell protein production. *Bamdigeh*. 1989; 41: 58-66.
- [7] Hargreaves J. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquac Eng*. 2006; 34: 344-363.
- [8] Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*. 2017; 264:140-147.

Revisión literaria

- [9] Ballester E L C, Abreu P C, Cavalli R O, Emerenciano M, Abreu L, Wasielesky W. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquac Nut.* 2010; 16: 163-172.
- [10] Kuhn D D, Boardman G D, Lawrence A L, Marsh L, Flick G J. Microbial flocs generated in bioreactors is a superior replacement ingredient for fishmeal or soybean meal in shrimp feed. *Aquaculture.* 2009; 296: 51–57.
- [11] Ferreira G S, Bolívar N C, Pereira S A. Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture.* 2015; 448: 273-279.
- [12] Martínez R, Vargas F, Garibay E, Ortíz A, Porchas A, Lago A. Amaranth and wheat grains tested as nucleation sites of microbial communities to produce bioflocs used for shrimp culture. *Aquaculture.* 2018; 497: 503-509.
- [13] Moreno A, López A, Martínez R, Ramírez J, Carvallo M, Sánchez G. Effect of fishmeal replacement with a vegetable protein mixture on the amino acid and fatty acid profiles of diets, biofloc and shrimp cultured in BFT system. *Aquaculture.* 2018; 483: 53-62.
- [14] Vargas F, Martínez R, Gollas T, Garibay E, Coelho G, Lago A. Inferring the functional properties of bacterial communities in shrimp-culture bioflocs produced with amaranth and wheat seeds as fouler promoters. *Aquaculture.* 2019; 500: 107-117.
- [15] Kumar S, Pandey K, Anand T, Bhuvanewari R, Dhinakaran A, Kumar S. Biofloc improves water, effluent quality and growth parameters of *Penaeus vannamei* in an intensive culture system. *Journal of Environmental Management.* 2018; 215: 206-215.
- [16] Fatimah N, Julyantoro P, Natrah F, Wichi W, Widanarni A, Sucipto A. The role of microbial quorum sensing on the characteristics and functionality of bioflocs in aquaculture systems. *Aquaculture.* 2018; 504: 420-426.
- [17] Khatoon H, Banerjee S, Guan Y, Haris N, Ikhwanuddin M, Ambak A. Biofloc as a potential natural feed for shrimp postlarvae. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 2016; 113: 304-309.
- [18] Bragaa A, Magalhães V, Hanson T, Morrisc T, Samocha M. The effects of feeding commercial feed formulated for semi-intensive systems on *Litopenaeus vannamei* production and its profitability in a hyper-intensive biofloc-dominated system. *Aquaculture Reports.* 2016; 430: 172-177.
- [19] Wu-Jie X, Lu-Qing P, Da-Hu Z, Jie H. 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.* 2014; 350: 147-153.
- [20] Panigrahi A, Sundaram M, Saranya C, Satish R, Syama J. Influence of differential protein levels of feed on production performance and immune response of pacific white leg shrimp in a biofloc-based system. *Aquaculture.* 2018; 503: 118-127.
- [21] Bakhshi F, Najdegerami H, Arkansas R, Tukmechi A, Rahmani K. Use of different carbon sources for the biofloc system during the grow-out culture of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings. *Aquaculture.* 2018; 484: 259-267.
- [22] Jiawei L, Gang L, Changwei L, Yale D, Musa T, Lihua L. Effects of different solid carbon sources on water quality, biofloc quality and gut microbiota of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae. *Aquaculture.* 2018; 495: 919-931.
- [23] Guozhi L, Nan Z, Shengli C, Hongxin T, Zefeng L. Nitrogen dynamics, bacterial community composition and biofloc quality in biofloc-based systems cultured *Oreochromis niloticus* with poly- β -hydroxybutyric and polycaprolactone as external carbohydrates. *Aquaculture.* 2017; 479: 732-741.
- [24] Panigrahi A, Sundaram M, Saranya C, Dash R, Syama J, Swain S. Carbohydrate sources differentially influence growth performances, microbial dynamics and immunomodulation in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under biofloc system. *Fish & Shellfish Immunology.* 2019; 86: 1207-1216

- [25] Panigrahi A, Sundaram M, Saranya C, Dash R, Syama J, Swain S. Carbohydrate sources differentially influence growth performances, microbial dynamics and immunomodulation in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under biofloc system. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019; 86: 1207-1216.
- [26] Xu W, Morris C, Samocha T, Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*. 2016; 453: 169–175.
- [27] Braga A, Magalhães V, Hanson T, Morris T, Samocha T. The effects of feeding commercial feed formulated for semi-intensive systems on *Litopenaeus vannamei* production and its profitability in a hyper-intensive biofloc-dominated system. *Aquaculture Reports*. 2016; 3: 172-177.
- [28] Xu W, Morris C, Tzachi M, Samocha T. Effects of two commercial feeds for semi-intensive and hyperintensive culture and four C/N ratios on water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles at high density in biofloc-based, zero-exchange outdoor tanks. *Aquaculture*. 2018; 490: 194-202.
- [29] Jung J, Damusaru J, Park Y, Kim K, Seong M, Hyeong W. Autotrophic biofloc technology system (ABFT) using *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* positively affects performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Algal Research*. 2017; 27: 259-264.
- [30] Ekasari J, Rivandi D, Putri A, Harris E, Zairin M, Bossier P. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*. 2015; 441: 72-77.
- [31] Alves G, Araújo A, Ramos E, Maldonado E, Benvindo A, Teixeira E. Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*. 2017; 479: 564-570.
- [32] Schweitzer R, Lorenzo M, Vieira F, Pereira S, Mouriño J, Seiffert W. Nursery of young *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in biofloc- and microalgae-based systems. *Aquacultural Engineering*. 2017; 78: 140-145.
- [33] Lorenzo M, Poli M, Souza E, Schleder C, Rodrigues M, Guimarães A. Hatchery performance of the pacific white shrimp in biofloc system using different stocking densities. *Aquacultural Engineering*. 2016; 75: 46-50.
- [34] Panigrahi A, Saranya C, Sundaram M, Kannana S, Dasa S, Kumar R. Carbon: Nitrogen (C:N) ratio level variation influences microbial community of the system and growth as well as immunity of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in biofloc based culture system. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018; 81: 329-337.
- [35] Chen J, Liub P, Lia Y, Lia M, Xia B. Effects of dietary biofloc on growth, digestibility, protein turnover and energy budget of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 241: 151-162.
- [36] Chen J, Ren Y, Li Y, Xia B. Regulation of growth, intestinal microbiota, non-specific immune response and disease resistance of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) in biofloc systems. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018; 77: 175-186.