



CES Medicina Veterinaria y Zootecnia
ISSN: 1900-9607
Universidad CES

Hernández Mancipe, Liliana Elizabeth; Londoño Velez, Jorge Iván;
Hernández García, Karen Alejandra; Torres Hernández, Laura Camila
Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola
CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, vol. 14, núm. 1, 2019, Enero-Abril, pp. 70-99
Universidad CES

DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321461742007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

Artículo de revisión

The biofloc systems: an efficient strategy in the aquaculture production

Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola

Os sistemas biofloc: uma estratégia eficiente na produção de aquacultura

Liliana Elizabeth Hernández Mancipe ^{1*} MVZ, Esp., CvLAC; Jorge Iván Londoño Velez ², MV, Esp, MS, CvLAC; Karen Alejandra Hernández García ^{3, MV}; Laura Camila Torres Hernández ^{4, QFr}

Fecha correspondencia:

Recibido: 29 de abril de 2018.

Aceptado: 13 de marzo de 2019.

Forma de citar:

Hernández Mancipe LE, Londoño Vélez JI, Hernández García KA, Torres Hernández LC, Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola. Rev. CES Med. Zootec. 2019; Vol 14 (1): 70-99.

[Open access](#)

[© Copyright](#)

[Creative commons](#)

[Ethics of publications](#)

[Peer review](#)

[Open Journal System](#)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>

ISSN 1900-9607

Filiación:

* Autora para correspondencia:
Liliana Elizabeth Hernández
Mancipe. Correo electrónico:
liliaanelihernandez@gmail.com

Comparte



Abstract

Fish farming in Colombia is the livestock activity that has reported the highest growth in the last decade, improving the development indicators of the agricultural sector. To make its production more efficient, the implementation of the Biofloc Systems (SB) is proposed, aggregates of microbial communities in the form of flocs integrated by bacteria, phytoplankton, organic and inorganic matter, easily generated in the ponds, under conditions of constant recirculation of water, high oxygenation and supplementation with carbon rich sources; provided conditions to exercise control of water quality, by natural processes (metabolism of oxygen and nitrogen), made by bacteria, phytoplankton and some algae; that capture and immobilize the ammonia produced in the pond (nitrification processes), to produce bacterial protein of excellent quality, easily exploitable by fish, which is reincorporated into the trophic system of the pond maximizing the production of fish meat per unit area; with a minimum use of water resources (Minimum water exchange systems), so it decreases the possibility of entry of pathogens and diseases to the pond having a relevant role in the biosecurity of the pond, in addition to its activity as controller of populations of pathogenic bacteria. Likewise, a positive effect has been found in the development and estimation of some defense mechanisms of the immune system of fish and shrimp, supporting their role as immunostimulant compounds. These also present other nutritional advantages such as the increase rate of ingestion, digestion, absorption, food conversion, growth, positive effects on digestive enzymatic activity and others; even improving reproductive performance, indicators of fecundity, spawning and biochemical composition of eggs in some aquaculture species.

Keywords: *efficient microorganisms, fish farming, probiotic, sustainability.*

Resumen

La piscicultura en Colombia es la actividad pecuaria que ha reportado mayor crecimiento en la última década mejorando los indicadores de desarrollo del sector agropecuario nacional. Para hacer más eficiente su producción, se

¹ Médico Veterinario y Zootecnista. Especialista en Producción Animal, Candidata Maestría en Ciencias Veterinarias. Escuela de Posgrados. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia UPTC. Avenida Central del Norte No 39-115. Edificio administrativo Escuela de Posgrados. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

² Médico Veterinario. Universidad de la Salle, Especialista en Medicina Interna de Caninos y Felinos de la Escuela de Posgrados. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia UPTC, Magíster en Bioética, Universidad El Bosque. Grupo de Investigación Cirexvet, UPTC.

³ Médico Veterinario. Fundación Universitaria del Trópico Americano Unatrópico.

⁴ Química Farmacéutica. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.

propone la implementación de los Sistemas Biofloc (SB), agregados de comunidades microbianas en forma de flóculos integrados por bacterias, fitoplancton, materia orgánica e inorgánica, generados fácilmente en los estanques; bajo condiciones de recirculación constante de agua, alta oxigenación y suplementación con fuentes ricas en carbono; brindándole condiciones para ejercer control de la calidad del agua, mediante procesos naturales (metabolismo de oxígeno y nitrógeno), realizados por bacterias, fitopláncton y algunas microalgas; que captan e inmovilizan el amoniaco producido en el estanque, (procesos de nitrificación), para producir proteína bacteriana de excelente calidad, fácilmente aprovechable por los peces, que reincorporada a la cadena alimenticia del estanque maximiza la producción de carne de pescado por unidad de área; con utilización mínima del recurso agua (Sistemas de mínimo recambio de agua) por lo que disminuye la posibilidad de la entrada de patógenos y enfermedades al estanque, mejorando la bioseguridad por su actividad como controlador de poblaciones de bacterias patógenas. Asimismo, se ha encontrado un efecto positivo en el desarrollo y la estimulación de algunos mecanismos de defensa del sistema inmunológico innato de peces y camarones, confirmando su papel como compuestos inmunoestimulantes. También presentan otras ventajas nutricionales como mejora en la tasa de ingestión, digestión, absorción, conversión alimenticia, crecimiento, efectos positivos sobre la actividad enzimática digestiva entre otras; incluso optimando el rendimiento reproductivo, los indicadores de fecundidad, desove y composición bioquímica de los huevos en algunas especies acuáticas.

Palabras clave: *microorganismos eficientes, piscicultura, probiótico, sostenibilidad.*

Resumo

A piscicultura na Colômbia é a atividade pecuária que registrou o maior crescimento na última década, melhorando os indicadores de desenvolvimento do setor agrícola. Para tornar a produção mais eficiente, propõe-se a implementação de sistemas Biofloc (SB), são agregados de comunidades microbianas, na forma de flocos, composto por bactérias, fitoplâncton, matéria orgânica e inorgânica, facilmente gerados em lagoas sob condições de recirculação constante proposto água, alta oxigenação e suplementação com fontes ricas em carbono; proporcionar condições para controle da qualidade da água, através de processos naturais (metabolismo de oxigênio e nitrogênio), realizados por bactérias, fitoplâncton e algumas microalgas; que captura e imobilizar o amoníaco produzido no estanque, (nitrificação), para produzir a proteína bacteriana da qualidade, facilmente utilizável por peixe reincorporado ao sistema trófico da lagoa, maximização da produção de carne de peixes por unidade de área; com uso mínimo de recursos hídricos (sistemas mínimos de troca de água), o que reduz a possibilidade de patógenos e doenças entrarem na lagoa; tendo papel relevante na biossegurança da lagoa, além de sua atividade como controladora de populações de bactérias patogênicas. Da mesma forma, um efeito positivo foi encontrado no desenvolvimento e estimulação de alguns mecanismos de defesa do sistema imune inato de peixes e camarões, confirmando seu papel como compostos imunoestimulantes. Eles também apresentam outras vantagens nutricionais, como melhora na taxa de ingestão, digestão, absorção, conversão alimentar, crescimento, efeitos positivos na atividade enzimática digestiva entre outros; inclusive melhorando o desempenho reprodutivo, indicadores de fecundidade, desova e composição bioquímica dos ovos em algumas espécies de aquicultura.

Palavras-chave: *microorganismos eficientes, piscicultura, probiótico, sustentabilidade.*

Introducción

De acuerdo con las perspectivas del Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia ⁸, los diferentes actores del sector acuícola del país concertaron hacer esfuerzos para que en el 2023 la acuicultura colombiana se consolide como uno de los sectores que jalonan el desarrollo rural y la seguridad alimentaria del país, con productos inocuos de alta calidad, capaces de competir en mercados nacionales e internacionales; considerando el potencial del país para la producción en cuanto a calidad y disponibilidad de agua y diversidad de especies piscícolas susceptibles de explotación comercial ^{8,90}.

Actualmente, este sector es la producción pecuaria con un crecimiento mayor al 6,1% en volumen y del 11% en valor ⁸⁴, con una producción cercana a las 125.037 toneladas ⁸⁸. Las expectativas puestas en el sector y la seguridad en el mercado entre otros factores la han posicionado como una actividad importante en la producción de alimentos de calidad, pues durante el período 2013 - 2017 el consumo per cápita de productos de la acuicultura incrementó el 1.08% del promedio anual, este consumo en Latinoamérica fue de 9,9 kg/persona/año, y para Colombia fue de 2,98 kg/persona/año en el año 2017 ⁸⁸.

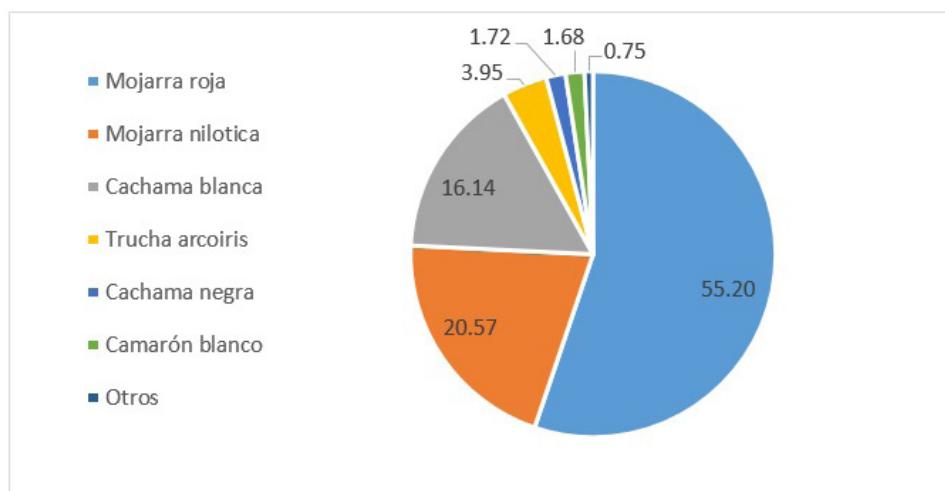
De la totalidad de la producción piscícola en Colombia, el 99,9% es piscicultura es continental, de la cual el 66% proviene de cultivos semintensivos (estanques en tierra) y el 34% de cultivos intensivos (jaulas y jaulones) ⁴³. Las principales especies que se manejan son la mojarra con un 72,18% y la trucha con un 9,54%, la primera la más empleada para la producción y con mayor participación en el mercado. Además, se explotan especies endémicas de Colombia entre las cuales destaca la cachama blanca con un 13,05%, seguida por el bocachico, el yamú, entre otras con un 5,23% ⁴³.

El reporte más reciente del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano SEPEC, en relación a la producción anual de acuicultura por especie, indica que la mojarra roja y nilótica sigue siendo las especies más explotadas con un 55,2% (5677,6 Ton) y 20,6% (2115,5 Ton) respectivamente, seguido por la cachama blanca con 16,1% (1660,1 Ton), y de otras especies ⁸⁶ ([Tabla 1](#); [Figura 1](#)).

Tabla 1. Producción anual de acuicultura por especie.

Nombre común	Nombre científico	Ton/año	%
Mojarra roja	<i>Oreochromis spp.</i>	5677,6	55,20
Mojarra nilotica	<i>Oreochromis niloticus</i>	2115,5	20,57
Cachama blanca	<i>Piaractus brachypomus</i>	1660,1	16,14
Trucha arcoiris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	406,59	3,95
Cachama negra	<i>Colossoma macropomum</i>	176,93	1,72
Camarón blanco	<i>Litopenaeus vannamei</i>	172,59	1,68
Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>	36,5	0,35
Híbrido de cachama blanca con cachama negra	<i>Piaractus brachypomus X Colossoma macropomum</i>	19,9	0,19
Yamú	<i>Brycon amazonicus</i>	12,88	0,13
Bagre rayado	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	4	0,04
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	3,6	0,03
Total		10286,19	100,0

Adaptado de Sepec, 2019 ⁸⁶.

**Figura 1.** Porcentaje de Producción anual por especie.Adaptado de SEPEC 2019⁴⁶

Es importante considerar que la piscicultura es un renglón de la acuicultura relacionada con la cría y engorde de peces para el consumo. Esta actividad depende del buen manejo, calidad de agua, calidad genética, tipo de alimento administrado, sanidad y sistemas de comercialización del producto final, entre otros factores ⁴⁵. Fundamenta su producción en el aprovechamiento de los peces criados en un medio aislado de su hábitat original, en el que el agua empleada proviene de fuentes hídricas cercanas, y posterior al proceso productivo las aguas ya aprovechadas son vertidas a las mismas fuentes hídricas, generando un considerable impacto ambiental. Aun así, esta actividad productiva se viene desarrollando desde hace varias décadas, pero solo recientemente ha tenido un considerable desarrollo por las ventajas económicas que presenta ⁴⁷.

En Colombia, los sistemas de producción semiintensiva tradicionales, que se desarrollan en estanques en tierra, tienen producciones poco eficientes; además, las características de producción han generado impactos ambientales en los afluentes hídricos, por la adición de concentrado comercial, medicamentos para control de enfermedades, y por la acumulación de materia orgánica que adicionan cargas de contaminantes con levadas cantidades de metabolitos tóxicos, principalmente derivados del fósforo, potasio y nitrógeno afectando la calidad del agua y ocasionando procesos de eutrofización ⁴⁶; produciendo en el agua disminución de oxígeno, turbidez excesiva, superproducción de algas, sedimentación y la acumulación de residuos entre otras afectaciones. Con ello se alteran las condiciones físico químicas del agua: disponibilidad de oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica e incluso la temperatura, parámetros a los cuales son extremadamente sensibles los organismos acuáticos ^{25, 82}. Niveles de nitrito por encima de 0,75 ppm producen estrés en peces y mayores de 5 ppm son tóxicos para estos animales, niveles de nitrato superiores a 80 ppm también son muy tóxicos, eutrofizan las aguas y cambian el comportamiento químico de los sedimentos ¹⁵; por su parte, los fosfatos, producen un excesivo crecimiento de algas en las aguas superficiales, exacerbando la eutrofización ¹⁵.

Estos vertimientos de aguas contaminadas están reglamentados por legislación ambiental aplicable a la piscicultura; se normaliza con la Ley 13 del 15 de enero de 1990⁵⁸ por la cual se dicta el Estatuto General de Pesca y se dan los lineamientos

del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). Especial atención merece el Decreto 2667 del 21 de diciembre del 2012 ³³ mediante el cual se reglamenta la Tasa Retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones; este decreto, dispone que es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible quien establecerá los elementos, sustancias o parámetros contaminantes que serán objeto del cobro de la tasa retributiva por vertimientos y la unidad de medida de las mismas. De otro lado el artículo 18 del Decreto 1895 del 12 de septiembre de 2013 ³², dicta las funciones de la Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuáticas; que complementa lo establecido en la Ley 99 del 1993 ⁵⁹, la cual establece la importancia de proteger y aprovechar en forma sostenible la biodiversidad, y de promover el manejo integral del medio ambiente en su interrelación con los procesos de planificación económica, social y física.

En relación a la Tasa Retributiva, aplicaría a las producciones piscícolas cuando sus vertimientos estén por encima de los parámetros contaminantes establecidos por el ministerio ³³; por lo tanto, es prioritario que se establezcan medidas que estimule el uso de tecnologías innovadoras que cumplan con los esquemas que se ha formulado la piscicultura en su desarrollo productivo: ser económicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente aceptable; para mitigar y minimizar el costo económico que pudiera generarse por cuenta de la contaminación.

Frente a estos retos, surgen opciones tecnológicas innovadoras que mejoran la eficiencia de los cultivos, en pro de su sostenibilidad ambiental, económica y social, Los Sistemas Biofloc, (SB) alternativas industriales amigables con el ambiente que van de la mano con altas producciones ⁴³; sin embargo, a pesar de que se presentan como una alternativa ambiental y rentable económicamente, han sido poco estudiadas en el país ¹⁹.

Los SB comenzaron a ser utilizados en la acuicultura en la década de 1980 en la Polinesia Francesa; posteriormente, en Israel se realizaron experimentos de la formación de cadenas microbianas heterotróficas a través de la aplicación de fuentes de Carbono:Nitrógeno en el agua de cultivo. En la misma época, en USA se desarrollaron tecnologías ambientales con el objeto de disminuir el vertimiento de contaminantes a los efluentes, pero fue hasta la década de los 2000 cuando se iniciaron estudios en el cultivo de camarones y peces en sistemas superintensivos aplicando esta tecnología ⁹².

Los SB son considerados como una alternativa eficiente para mitigar los impactos ambientales negativos generados por las descargas de agua provenientes de la acuicultura ¹⁹; debido a que puede reciclar y reusar continuamente los nutrientes ⁴² por la asociación de sus comunidades microbianas aerobias con la alta materia orgánica presente en los estanques; manteniendo el balance del carbono y del nitrógeno en el sistema ²⁹, debido a que tienen la capacidad de sacar estos compuestos del agua, en forma de biomasa bacteriana. De esta manera conservan bajos los niveles de nitrógeno en el agua (potencialmente dañinos) y se mantienen relativamente estables los parámetros físico químicos que de ello dependen ⁶⁸.

En este sentido, los SB han venido ofreciendo una solución a problemas ambientales, porque remueven los desechos metabólicos de los sistemas de producción acuática al aumentar el reciclaje de nutrientes, reduciendo la eutrofización, el recambio de

agua y los costos asociados con esta práctica. Además, la tecnología biofloc permite que la acuicultura crezca de una forma ambientalmente amigable, y el consumo de los microorganismos del biofloc reducen los costos de las dietas ⁶⁴.

Los Sistemas Biofloc

El *Biofloc* se define como una agregación conglomerada de comunidades microbianas (flóculos) integrada por fitoplancton, bacterias y materia orgánica particulada viva y muerta, suspendida en el agua del estanque ²⁶. Estas partículas engloban material orgánico particulado, sobre el que se desarrollan microalgas, organismos microscópicos diversos (protozoos, rotíferos, hongos, oligoquetos), en particular una gran diversidad de bacterias heterotróficas ⁵⁴. Estos sistemas se caracterizan porque ofrecen la posibilidad de incrementar la densidad del cultivo, obteniendo mayor productividad por unidad de área, disminuyendo la utilización del agua y minimizando la utilización del espacio, con lo que se reducen los costos de producción; y se garantiza un producto de mejor calidad, manejando altas densidades de siembra, que al ser mayores en comparación con los sistemas tradicionales, se obtienen más cantidad de carne de pescado en el mismo espacio que emplea un sistema tradicional ⁵⁷ convirtiéndose en una tecnología innovadora y de vanguardia para la producción acuícola superintensiva, en el marco de las producciones sostenibles, ya que permite cultivos con densidades entre 80 y 120 peces/m³, con bajo consumo de agua y en reducidos espacios ¹².

Los Sistemas Biofloc (SB) se fundamentan en el "Principio Básico de la Floculación" ⁹ que consiste en mantener alta cantidad de flóculos en suspensión, compuestos por poblaciones microbianas que requieren mantenerse en continua recirculación con elevadas cantidades de oxígeno, dos factores que son dados por la aireación constante del agua mediante *blowers* o *splash* que activados con corriente eléctrica mantienen en movimiento las masas de agua de los estanques ⁴¹. Estos sistemas necesitan de la adición de fuentes ricas en carbono para que se desarrolle la descomposición aerobia de la materia orgánica, generada como producto de desecho del ecosistema del estanque; se ha demostrado que la inclusión de productos ricos en carbohidratos, capaces de aportar gran cantidad de carbono, estimula el crecimiento de bacterias heterotróficas, las cuales inmovilizan el nitrógeno potencialmente tóxico de los residuos del estanque al convertirlo en proteína microbiana ³⁹, que es posteriormente aprovechada por fito y zooplancton, primer eslabón en la cadena alimenticia, para que finalmente sea aprovechados como alimento por los peces o camarones objeto de la producción. En la práctica, algunas experiencias de los autores en campo, sin reportar, han demostrado la eficiencia de la melaza como fuente de carbono en comparación con el uso de las harinas (almidones), especialmente cuando los alevinos son muy jóvenes.

Las poblaciones microbianas que hacen parte de los flóculos han sido definidas como "Biorreactores" ⁴² por su doble función: primero convertir los compuestos nitrogenados, como el amoniaco, el nitrito y el nitrato que eventualmente generarían efectos tóxicos en el sistema ⁵⁴, en proteína microbiana de alta calidad que funciona como alimento para peces y camarones; y segundo, mejorar y controlar la calidad del agua al fijar dichos compuestos nitrogenados potencialmente tóxicos ²⁹.

Este control de la calidad del agua se da por procesos naturales relacionados con el metabolismo del oxígeno durante la fotosíntesis que realiza el fitoplancton y algunas microalgas. La absorción de nutrientes por parte de fitoplancton controla la cantidad del amoniaco en el estanque, que es captado, además, por procesos de nitrificación

e inmovilización por parte de bacterias, por lo que se denominan "Sistemas fotosintéticos de crecimiento suspendido" ⁴⁸. Esta fijación o inmovilización de compuestos nitrogenados, se desarrolla más rápido por las bacterias heterótrofas que componen el Biofloc, pues el crecimiento y la producción de biomasa es 10 veces más rápida que con las bacterias químico y foto autótrofas ⁶⁷; lo que indica un valor agregado a estos (SB) al considerar la eficiencia económica en términos de servicios ambientales por la asimilación de desechos, reciclaje de nutrientes y producción de alimento.

En un sistema piscícola tradicional intensivo, la excreción de nitrógeno por los peces puede llegar a alcanzar altos niveles, de tal manera que la relación (C:N) puede estar alrededor de 3:1, situación que aunada a la mínima cantidad de carbono orgánico asimilable, impide la incorporación del nitrógeno por parte de las bacterias ⁵⁶. Estos organismos capaces de fijar los compuestos nitrogenados en un sistema acuático son: las algas, que lo hacen mediante la asimilación de dichos compuestos; las bacterias quimioautótrofas mediante mecanismos de oxidación y las bacterias heterotróficas junto con otro grupo de microorganismos como zooplancton, hongos y nematodos, que son abundantes en los sistemas acuáticos por su alta capacidad reproductiva ⁸⁰, estos microorganismos presentes en los Bioflocs, son los responsables del control de los niveles de compuestos nitrogenados tóxicos en los estanques.

En un estudio en el que se evaluaban varias densidades de siembra, se logró evidenciar un aumento del rendimiento en dicho sistema, encontrando, que la relación entre los lodos y la biomasa animal producida disminuyó ²¹; es decir que a medida que aumentaban las densidades de los peces, los lodos residuales que se producían en el estanque eran menores, lo cual se daba por el aprovechamiento de nutrientes que hacia el biofloc a partir de desechos del estanque, con posterior reincorporación de estos como proteína microbiana a la dieta de los animales. Con estos hallazgos quedan en evidencia nuevamente el potencial ecológico y la sostenibilidad ambiental de las producciones donde se manejan los SB por la recuperación y el reciclaje de nutrientes. De otro lado, y confirmando estos hallazgos, en un cultivo de camarones en SB se encontró una eficiencia en la recuperación de nitrógeno del 27,9% adicional, y para el fósforo una eficiencia del 223% en comparación con un sistema de producción tradicional ⁷⁵.

Los (SB) han sido probados con excelentes resultados en varias especies piscícolas como la mojarra (*Oreochromis niloticus*) ^{56,73,98}, la carpita (*Cyprinus carpio*) ²⁰, el bocachico (*Prochilodus magdalenae*) ¹³, la cachama (*Piaractus brachypomus*) ^{21,22,74}, el bagre (*Clarias gariepinus*) ^{36,77}; y en otras especies acuícolas como camarones (*Macrobrachium rosenbergii*) ^{2,22} (*Farfantepenaeus brasiliensis*) ¹⁶, (*Litopenaeus vannamei*) ^{1,52,81} langostas, langostinos jaibas, mejillones y pepinos de mar (*Apostichopus japonicus*) ^{31,38}, entre otros. Incluso, se han desarrollado trabajos en los que se integran policultivos de mojarra y camarón obtenido excelentes resultados de producción, sin que se afectara el desempeño de ninguna de las especies.

En el país, hasta hace poco se ha venido desarrollando investigación en especies promisorias, es así que en Colombia se ha logrado potencializar la producción de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en (SB) intensificando las densidades entre 5 y 10 peces/m³, obteniendo excelentes resultados de crecimiento en la fase de preengorde ¹³ sin embargo en investigaciones realizadas en Brasil con una especie autóctona como el pira pita o salmón de río (*Brycon orbignyanus*) criadas en (SB), no se obtuvieron buenos resultados de productividad ni de sobrevivencia ⁸⁷, a pesar de ser una especie de aguas turbias, probablemente porque es una especie que no tolera

aguas con alta carga de nitrógeno o porque el crecimiento de esta especie es muy lento ⁶⁹, sin embargo está siendo aún estudiada la razón de su poca compatibilidad con este tipo de sistemas.

Composición de los Sistemas Biofloc

Como se mencionó anteriormente, los flóculos de los (SB), están formados por fitoplancton, bacterias y agregados de materia orgánica particulada ⁴⁸; el flóculo está constituido de 60 a 70% por materia orgánica, de la cual del 2 al 20% son células microbianas, y de 30 a 40% por materia inorgánica ⁹⁴; complementado con lo reportado en un trabajo realizado en estanques de camarones, donde encontraron que los flóculos estaban constituidos por un 24,6% de fitoplancton, compuesto por diatomeas como *Thalassiosira*, *Chaetoceros* y *Navicula*; 3% de biomasa bacteriana de la cual 2/3 eran gramnegativos y 1/3 grampositivos; 33,2% de detritus, 39,25% de ceniza y un mínimo porcentaje de protozoos entre los cuales se halló un 98% de flagelados, 1,5% de rotíferos y 0,5% de amebas ⁵³.

Las especies bacterianas dominantes que están presentes en los Bioflocs incluyen *Proteobacterium*, especies de *Bacillus* y *Actinobacterium* y otras en menor cantidad como *Roseobacter sp.* y *Cytophaga sp.* Estos microrganismos fueron los responsables de mantener la calidad del agua mediante la fijación de nitrógeno en proteína microbial ⁹⁹. Según su metabolismo, se clasifican como bacterias heterotróficas fijadoras de amoniaco y bacterias nitrificantes quimioautótrofas ^{34,37,49}. La concentración de estas bacterias está determinada entre 10^6 y 10^9 /ml de flóculo, con una materia seca entre 10 y 30 mg; por lo que cataloga a los (SB) como “Una industria biotecnológica”, al considerar las potencialidades antes descritas ¹⁰.

En un trabajo desarrollado por los autores en el 2017 sin publicar, se identificó la población biológica (zooplancton y fitoplancton) durante el ciclo productivo piscícola; se trabajaron en dos tanques de geomembrana (Figuras [2](#) y [3](#)) con Sistemas Biofloc que fueron manejados de manera idéntica, ambos con cultivos de mojarra, ubicados a pocos metros de distancia y en las mismas condiciones ambientales (Finca Villalu del municipio de Yopal, Casanare). El trabajo demostró que las poblaciones de microorganismos no fueron las mismas durante el ciclo productivo del cultivo y diferían entre los estanques. Dichas poblaciones solo se mantuvieron constantes durante algunas cortas etapas del ciclo productivo, pero generalmente fluctuaban en su composición.

En general, se identificaron microorganismos bioindicadores de la calidad de agua, como algas verdes: *Cladophora sericea*, *Brasiliensis scenedesmus*, *Scenedesmus acuminatus*, *Scenedesmus acuatus*, *Scenedesmus ellipsoideus*, *Scenedesmus ecornis*, *Cosmarium sp*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia linearis*, *Synedra ulna*, *Navicula sp*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia rostellata*; protozoarios como: *Acinetas*, *Suctorria*, *Euplates patella*, *Coleps sp*, *Paramecium caudatum*, *Vorticella convalaria*, *Zoothamnium sp*; gran población de rotíferos como: *Euchlanis dilatata*, *Philodina roséola*, pero poca presencia de *Anabaena sp.* (Cianobacteria) y *Rhizopus nigricans* (ficomictos).

Estas diferentes poblaciones de microorganismos identificadas a lo largo del ciclo productivo, generan variaciones en los parámetros físicos del agua como la turbidez y el color. Para el caso de la turbidez, esta se determinó utilizando el disco de Secchi con el que se midió el límite de visibilidad en la columna de agua, se encontró que durante los primeros 15 días de maduración del sistema se mantenía en un promedio de 47 cm; para el primer mes de establecimiento, el promedio se encontraba sobre

los 30 cm; para el segundo mes con 25 cm y desde el tercer mes en adelante (aguas maduras) se obtuvieron mediciones de 22 a 20 cm hasta el final del ciclo productivo; siempre encontrando variaciones de turbidez entre los tanques, pero manteniéndose ideal para este tipo de producción.

Para el caso del color del agua y consecuente con los hallazgos de turbidez, durante los primeros 15 días el agua era incolora; del primer al segundo mes el color era ligeramente turbio (amarillo) y a partir del segundo mes hasta el final del ciclo productivos el color del agua fue marrón, lo que indicaba un estado óptimo de madurez del agua ([Figura 3](#)) pues lo ideal en sistemas de biofloc es conseguir una coloración del agua marrón oscura (Bacterias heterotróficas)⁷⁸, por lo que los valores se encontraban dentro de las condiciones ideales para ese tipo de sistemas durante todo su ciclo productivo.



Figura 2. Tanques en geomembrana para piscicultura en sistemas biofloc. Finca Villalu del municipio de Yopal, Casanare.



Figura 3. Aspecto del agua madura (turbidez y color) empleada para piscicultura en sistemas biofloc.

Inoculación del estanque para Sistemas Biofloc

Teniendo en cuenta la diversidad ecológica de los flóculos, para la implementación de los estanques algunos autores señalan varias estrategias que han resultado ser muy eficientes: la utilización de arcillas de otros sistemas para estimular la generación de los microorganismos ⁴; la inoculación de un estanque nuevo con aguas maduras de otros (SB); y el uso de un preparado elaborado con 20 g de suelo del fondo del estanque, 10 mg de sulfato de amonio y 200 mg de fuentes de carbono en 1 litro de agua, garantizando la eficiencia en la generación de flóculos de buena calidad ^{44,61}.

En la experiencia práctica de los autores en el municipio de Yopal, el proceso de preparación del agua se realizó directamente en dos tanques de 120.000 lt, haciendo seguimientos diarios de los parámetros físico-químicos. En la primera semana se adicionó hipoclorito sódico al agua para su desinfección; en la segunda semana se adicionaron 2 kg de cal en una única dosis y 15 kg de sal marina para el control de microorganismos patógenos; y en la tercera semana se administró bicarbonato de sodio como fuente de alcalinidad para flocular el agua. Para el día 20, se administraron 200 gr de probiótico comercial con cepas de bacterias específicas, las cuales contienen *Bacillus subtilis* (EC075), *B. subtilis* (EC076), *B. subtilis* (EC077), *B. licheniformis* (EC036), *B. licheniformis* (EC044) y *B. megaterium* (EC093), en una concentración de 1.5×10^{11} células por kilogramo, este probiótico se diluyó inicialmente en un contenedor cubierto con capacidad para un galón de agua con oxigenación durante 24 horas, para hacer más eficiente la multiplicación bacteriana y la producción de metabolitos activos.

La suspensión fue administrada al estanque en aspersión. Este procedimiento se realizó antes de la siembra de los peces, y se repitió cada 5 días, después de la siembra se realizó cada 3 días. En la cuarta semana se adicionaron 7 kg de sal marina y 30 kg de melaza por estanque; la melaza, se administró día de por medio, disminuyendo 2 kg diarios; las siguientes semanas se adicionaron 3 kg de fécula de maíz como fuente de carbohidratos; en la séptima semana se estaban administrando un promedio de 4 kg de melaza/día y 2 kg de sal marina, administrándolos día de por medio. Para este caso en particular, la duración del proceso de maduración fue en promedio de 25 a 60 días, siempre con aireación permanente, de forma controlada, con el objetivo de mantener alto el oxígeno disuelto y en los niveles apropiados para el metabolismo de los microorganismos de los Bioflocs.

Con este procedimiento se busca incrementar la producción de bacterias entre 30 a 100 veces, aunque no está estandarizado, en la práctica arrojó muy buenos resultados en cuanto a producción de flóculos y calidad de los mismos, pues la adición de insumos se realizaba de acuerdo a las necesidades detectables en el sistema, evaluadas mediante la medición de los parámetros físico químicos de la calidad del agua y según la maduración del sistema.

Relación carbono-nitrógeno (C:N) en Sistemas Biofloc

Como se ha mencionado, la fijación de compuestos nitrogenados en proteína microbial se da gracias a la elevada relación C:N necesaria para la funcionalidad de estos sistemas, por el carbono proveniente de fuentes ricas en carbohidratos que funcionan como fuente energética para los microrganismos ^{4,96}. Esta relación C:N debe ser mayor a 10, garantizando un cultivo bacteriano heterotrófico y baja generación de algas, pues se busca que la población bacteriana cambie de autótrofa a heterótrofa ⁵, la cual controla más eficientemente la concentración de productos nitrogenados en el estanque, incluso cuando las producciones de animales son superintensivas ²⁰. El

carbono es el factor que limita el crecimiento de las bacterias heterótrofas, cuando la relación C:N se mantiene entre 15-20, habrá un desarrollo más notorio de este tipo de microorganismos ² y la fijación de nitrógeno será mucho más eficiente ^{12,96}.

La fijación de nitrógeno se da mediante procesos de nitrificación; el metabolismo de las bacterias de los (SB) convierten los compuestos nitrogenados como el amoníaco, nitritos y nitratos (tóxicos en altas concentraciones cuando se acumulan a largo plazo) en proteína de fácil asimilación ⁵⁵. El amoníaco se inmoviliza cuando se almacena como proteína en células bacterianas heterotróficas ^{3,39,97} y teniendo en cuenta que la tasa de crecimiento de las bacterias heterotróficas es mayor que la de las bacterias nitrificantes, es rápido su control (horas o días) al suplementar una cantidad suficiente de carbono orgánico simple ⁹⁶. Se debe considerar que dichas células bacterianas son consumidas por los peces o camarones, por lo que la proteína microbiana de los Bioflocs, contenida en bacterias heterotróficas, es una fuente suplementaria de nutrición para estas especies.

Se ha determinado que la adición de una fuente de carbono mejora la tasa de fijación del amoniaco y de nitritos por unidad de tiempo, casi en un 26% más en comparación con un sistema control de producción tradicional ⁵⁵. En la práctica, la relación C:N se mejora mediante la adición al sistema de materias primas que contengan altas fuentes de carbohidratos como subproductos agropecuarios: melazas, harinas, azúcares, fuentes de fibra o cereales, glicerol, entre otras ⁴⁸. Como complemento a estas consideraciones, se compararon tres tipos de sistemas Biofloc (SB), suplementados con diferentes fuentes de carbono: glucosa, almidón y glicerol (manteniendo siempre la relación C:N de 15), se encontró que los flóculos que presentaron mayor cantidad de proteína fueron los suplementados con glucosa; mientras que los que contenían la mayor cantidad de lípidos fueron los suplementados con almidón como fuente de carbono ^{3,97}. Este mismo trabajo concluyó que el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales no dependía de la fuente de carbono, pero el tipo de población bacteriana con cada fuente de carbono fue diferente de manera significativa ³ con lo que se confirmó que el crecimiento y composición nutricional del Biofloc depende de la fuente de carbono empleada, y que además determina la población microbiana predominante.

Un trabajo similar comparó varias fuentes de carbono: 1) salvado de arroz, 2) melaza y 3) residuos de café; se concluyó que cuando la fuente de C contenía salvado de arroz o melaza se encontraron los flóculos con los niveles más altos de proteína (47,99 - 42,01%, respectivamente); cuando se utilizó como fuente de C la melaza se obtuvieron flóculos con los valores más altos para las cenizas (16,46%); y cuando se emplearon los residuos de café como fuente de C, se obtuvieron flóculos con el mayor porcentaje de fibra (29%). Comparando estas tres fuentes de C, no se encontraron diferencias significativas con respecto a lípidos ¹⁸. En Colombia, generalmente se emplea como fuente de carbono la melaza por la facilidad en la consecución de este insumo, su bajo costo y su aplicación, al disolverse fácil y uniformemente en todo el estanque; sin embargo, falta investigaciones que estandaricen las poblaciones microbianas y su composición nutricional con este recurso. Otras investigaciones en este tema, confirman que la fuente de carbono cambia significativamente la composición nutricional y el índice de calidad nutricional de los flóculos, al influir en la composición microbiana del floculo y en la organización de los Bioflocs ^{27,28}.

De otro lado, se ha logrado determinar que la relación C:N, se vincula con la sanidad del estanque. ^{39,71} En una investigación con el camarón *L. vannamei*, se correlacionó el

crecimiento y el estado de inmunidad del camarón producido en un (SB), en estanques suplementados con diferentes relaciones de C:N; se caracterizaron las poblaciones de bacterias que desarrollaban estas relaciones, y se encontró que la tendencia de dominancia de un microorganismo patógeno como el Vibrio ²¹, disminuía a medida que aumentaba la relación C:N, pues la fuente de carbono estimulaba el predominio de bacterias heterótrofas que competían y desplazaban a los microorganismos patógenos promoviendo adecuadas condiciones sanitarias para los camarones cultivados dentro de los estanques, pese a las altas densidades de cultivo. Adicional a lo anterior, se observó una mejor tasa de crecimiento cuando las relaciones C:N eran altas ²¹.

La recirculación y aireación en los Sistemas Biofloc

Los factores más importantes que se deben tener en cuenta para el diseño y desarrollo de un SB incluyen el efecto de la temperatura, la cantidad y calidad de la materia orgánica agregada, la relación C:N, la tolerancia de los peces a las condiciones ambientales, entre otras; sin embargo uno de los requisitos esenciales en este tipo de sistemas son la aireación y la recirculación del agua (mezclado o mixing) ⁴⁹.

La aireación es el proceso por el cual se agrega aire al estanque, este proceso busca cumplir dos objetivos sobre los SB: promover la difusión de oxígeno del aire al agua y mantener los flóculos en constante suspensión ²¹.

En relación al primer objetivo, busca aumentar los niveles de oxígeno disuelto y optimizar el desarrollo de los procesos bioquímicos de los Bioflocs; este proceso permite el abastecimiento del oxígeno requerido para el consumo de los peces, y especialmente por las bacterias que componen el Biofloc, las cuales se encargan de la eliminación de los complejos nitrogenados, de la descomposición aeróbica de la materia orgánica y de los procesos de nitrificación en presencia de oxígeno ¹⁴. El incremento artificial de la concentración de oxígeno en el agua se realiza forzando el paso del aire con oxígeno a través del agua, la transferencia de oxígeno se da con relación a: el volumen de aire movido por el sistema; la relación entre el área superficial y volumen de cada burbuja, y el tiempo que la burbuja está en contacto con el agua ²⁴.

Es importante tener en cuenta que el agua de los SB presenta una alta tasa de respiración, provocada por la alta concentración de sólidos en suspensión. Por ejemplo, en las producciones intensivas de camarón en sistemas raceways la tasa de respiración del agua oscila entre 2-2,5 mg O₂/L por hora, sin incluir la respiración de peces o camarones con lo cual podría incrementarse a 5-8 mg O₂/L por hora; sin embargo, la tasa de respiración del agua de SB en aguas marrones esta normalmente alrededor de los 6 mg O₂/L por hora ⁴⁹. Por ello, es prioritario proporcionar suficiente aireación u oxigenación para satisfacer la alta demanda de oxígeno y para mantener la concentración de oxígeno en niveles seguros. Estas altas tasas de respiración también indican que el tiempo de respuesta en el evento de una falla del sistema es muy corto, a menudo menos de 1 hora ⁴⁹. Por lo tanto, el monitoreo permanente, los sistemas de alarma y mecanismos de suministro de energía de emergencia son elementos requeridos de los SB.

En relación al segundo objetivo, es necesario considerar que los flóculos se mantienen en constante suspensión ²¹ gracias a la recirculación o mezclado del agua. Por lo cual, una de las condiciones más importantes para los SB es contar con adecuados sistemas de aireación que permita dicha recirculación del agua; buscando

que sus componentes: microorganismos, alimento no consumido, heces, detritus y en general toda la materia orgánica, pueda ser mantenida en suspensión en toda la columna de agua; de esta manera los microorganismos pueden transformar los compuestos en material celular gracias a la recirculación del agua que promueven los sistemas de aireación [78, 79](#); al mantener los sólidos en suspensión, se disminuyen las posibilidades de formación de zonas de descomposición anaeróbicas [74](#); porque si el sistema de recirculación falla, los biofloc se asientan y pueden formar bancos de materia orgánica que rápidamente consumen el oxígeno que se encuentre a su alrededor, estas zonas anaeróbicas pueden producir liberación de sulfuro de hidrógeno, metano y amoníaco que son altamente tóxicos para los organismos acuáticos [49](#); por eso, cuando en un estanque hay acumulación de lodos, es necesario reacomodar o reposicionar el sistema de aireación con el objetivo de generar turbulencia en el agua [78](#), teniendo precaución de no exagerar ya que podría generar inconvenientes para la alimentación de peces o camarones. Se han empleado con éxito sistemas de aireación con potencia suficiente que permita mantener recirculando el agua; para cultivos de camarones se recomienda 25 a 35 hp / ha, mientras que para sistemas de producción superintensiva de mojarra se emplean equipos con potencia de entre con 100 a 150 hp / ha [49](#).

Se ha determinado que la intensidad de la recirculación del agua dada por un dispositivo de aireación, determina el tamaño del floc en estado estable, estado que es logrado cuando se equilibra la velocidad e agregación de las partículas del biofloc y la tasa de rotura de los mismos [30,35](#). El tamaño de los flocos es una característica importante desde un punto de vista nutricional, ya que se ha demostrado que la calidad de los alimentos para diferentes especies acuícolas depende del tamaño de los alimentos [45](#). Otras investigaciones relacionadas con la cinética de los flóculos, determinaron que la intensidad en la aireación (aporte de oxígeno) influye no solo en el tamaño del flóculo, sino, sobre la estructura [19](#); infiriendo que la calidad de los Bioflocs incrementa cuando la aireación y por ende las concentraciones de oxígeno disuelto son altas en el estanque.

De otro lado, y considerando el permanente funcionamiento de los aireadores durante todo el ciclo productivo, se debe tener en cuenta el costo de energía eléctrica, siendo muy importante la elección de un tipo de aireador muy eficiente en consumo de energía pero que satisfaga los requerimientos de los SB sin perjudicar el desarrollo de los microorganismos ni la funcionalidad de los flocos formados; a este respecto una investigación probó cuatro modelos de aireadores: Aireador de bomba vertical (Splash), aireador de paletas, bomba de aspiración de hélice (Turbina) y aireador de soplado (Blower), para determinar cuál era más eficiente en SB de mojarra, concluyendo que el modelo de spalsh es mejor en cuanto a rendimiento y satisface los requisitos funcionales para su uso en este tipo de cultivos [72](#). Este hallazgo fue confirmado por los autores en un caso presentado en la explotación piscícola Villalu, en el que se encontraron niveles de saturación de oxígeno de 45,2% para un tanque y de 42% para el otro; valores demasiado bajos, teniendo en cuenta que el porcentaje de saturación óptimo debe encontrarse por encima del 60% [11,13](#), como se referencia en la [tabla 2](#). Frente a esta situación, se debió hacer un manejo correctivo con la implementación de un Aireador de bomba vertical (Splash, motor sumergible con gran capacidad de flujo) (Figuras [4](#) y [5](#)), para mejorar la concentración de oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno, encontrando que después de 40 minutos de instalado el equipo en los tanques de 120.000Lts, el porcentaje de saturación subió a 67,6% en los dos casos.

Tabla 2. Parámetros de calidad de agua en la tecnología biofloc.

Parámetro	Valor
Oxigenación	>6 mg/L
Saturación de oxígeno	>60%
Temperatura	26-30 °C
Ph	7-9 ppm
Alcalinidad	40-100 mg/L CaCO ₃
Sólidos totales en suspensión	400-1000 mg/L

Tomado de: Avnimelech, 2009 [11](#).



Figura 4. Sistema de aireacion Splash empleado en (SB).



Figura 5. Funcionamiento del sistema de aireación Splash.

Valor nutricional de los Sistemas Biofloc

El Biofloc, además de ser una fuente protéica de alta calidad ^{29,55,57} pues ofrecen una adecuada cantidad de aminoácidos ⁵³ con un contenido variable relacionado con el tamaño del floculo, presenta contenidos de lisina, fenilalanina, valina, treonina, leucina y muy ausente metionina y cisteína ³⁸. Otros autores han encontrado que la histidina y la taurina son los más abundantes, mientras que la arginina y la metionina son los aminoácidos limitantes ⁴⁹; es considerado como un alimento completo, por el valioso aporte de lípidos ¹⁴, ácidos grasos saturados (ácido palmitíco, ácido esteárico y ácido araquidónico), ácidos grasos insaturados (ácido oleico, ácido linolénico y ácido linoleico), ácidos grasos volátiles (ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isobutírico, ácido isovalérico y ácido valérico) ¹⁴; vitaminas y minerales (especialmente de fósforo) ⁴⁹; su alta palatabilidad le otorga mayor valor nutricional y se relaciona con las preferencias alimenticias naturales de los organismos acuáticos, por su facilidad para ser ingeridos y digeridos ⁴⁹.

De acuerdo con varios reportes, el valor nutricional del Biofloc se resume en la [Tabla 3](#) que se presenta a continuación:

Tabla 3. Valor nutricional de los flóculos de un Sistema Biofloc.

Autor	Proteína (%)	Carbohid (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Energía (Kcal)
Mcintosh <i>et al</i> , 2001 ⁶⁶	43		12,5		26,9	
Tacon <i>et al</i> ,2002 ⁸²	31,2		2,6		28,2	
Wester y Lim 2002 ⁹³	50			4	7	
Wasielesky <i>et al</i> , 2006 ⁹¹	31,1	23,6	0,5		44,8	
Ju <i>et al</i> , 2008 ⁵¹	26-41		1.2-2,3		18,3-40,7	
Ju <i>et al</i> , 2008 ⁵³	30,4		1,9	12,4	38,9	
Azim y Little, 2008 ¹⁴	38		3	6	12	19
Azim y Little, 2008 ¹⁴	50		2,5	4	7	22
Kuhn <i>et al</i> , 2009 ⁵⁵	49	36,3	1,13	12,6	13,4	
Kuhn <i>et al</i> , 2009 ⁵⁵	38,8	25,3		16,2	24,7	
Ballester <i>et al</i> , 2010 ¹⁶	30,4	29,1	4,7	8,3	39,2	
Emerenciano <i>et al</i> , 2012 ⁴²	30-40	29-10	0,47	0,83	39-20	
Maica <i>et al</i> , 2012 ⁶³	28,8-43,1		2,1-3,6	6,7-10,4	22,1-42,9	
Hargreaves, 2013 ⁴⁹	30-45		1-5			
Rego, 2016 ⁸¹	32-42		2-2,8		22-46	
Becerril-Cortés <i>et al</i> , 2018 ¹⁸	30.2-47,9		1,9-2,5	3,9-5,1	6,1 – 16,4	

La composición nutricional de los bioflocs es muy diversa, esto se debe a diferentes condiciones, como la relación C:N, e incluso guarda estrecha relación con el tamaño de las partículas; se ha encontrado que flóculos con tamaños mayores a 100 µm contienen niveles más altos de proteína (27,8%) y lípidos (7,5%), al ser comparado con bioflocs más pequeños, menores de 48 µm. Estos últimos por su parte, se caracterizan por presentar un contenido mayor de aminoácidos esenciales y ser más eficientes en los procesos de recuperación de nitrógeno en comparación a los flóculos grandes ³⁸.

Otras ventajas nutricionales de los (SB) radican en que mejoran la tasa de ingestión, digestión ⁴⁹ absorción, asimilación del alimento comercial y además proporcionan

una fuente completa de nutrición celular ²². En camarones criados en (SB) se encontró un aumento de peso con un crecimiento semanal de entre 2,8 y 3,4 veces más en comparación con animales criados en sistemas de producción tradicional ⁸⁹. Este aumento se atribuye a la capacidad de camarones y peces de obtener nutrientes adicionales a partir de microorganismos del biofloc, producidos de forma endógena dentro del sistema ^{11,89}.

Se ha demostrado que los (SB) en piscicultura mejoran la conversión alimenticia, la ganancia de peso y la sobrevivencia; gracias al aporte adicional de nitrógeno incorporado en las células bacterianas, que componen el biofloc; que, al ser consumido por los peces en forma de proteína microbiana, contribuye al crecimiento. Trabajos realizados en camarones y mojarras sugieren que, por cada unidad de crecimiento derivada del alimento comercial, de 0,25 a 0,0 unidades adicionales de crecimiento se derivan de la proteína microbiana del (SB) ⁵⁷, es decir, que del 20 al 30% del crecimiento se da por el consumo y la digestión de proteínas microbianas. Este beneficio se refleja en una mejor conversión alimenticia, indicador de la rentabilidad y sostenibilidad económica de este tipo de sistemas ⁴⁹.

En algunas investigaciones en las que se comparaba la inclusión de levadura de cerveza en la dieta de mojarras cultivadas en (SB) versus sistemas tradicionales, se logró determinar que a pesar de que la ingesta de proteína en el alimento fue casi idéntica en ambos grupos, hubo un crecimiento significativamente mayor en los peces mantenidos en (SB), pues mostraron un aumento de 20% en el peso final, la relación de conversión del alimento y eficiencia en el uso de las proteínas fue significativamente mejor y se redujo la mortalidad, por lo que se concluyó que, si los peces se crían en un entorno microbiano de alta densidad como son los (SB), la levadura de cerveza puede ser un posible sustituto de la harina de pescado, principal y más costosa materia prima de los alimentos balanceados empleados en piscicultura ⁹⁸.

En general los Bioflocs son excelentes materias primas para la alimentación de animales, por ser ricos en proteínas y lípidos naturales, por lo que se catalogan como "Alimento natural *in situ*", y al mismo tiempo como "Control biológico de residuos" al controlar los desechos de los peces y mejorar la calidad del agua ^{10,42}; por ello, varios autores han trabajado en el uso del Biofloc como suplemento alimenticio en especies acuáticas; la harina de Biofloc se ha trabajado como sustituto de la harina de pescado y de la harina de soya en alimento para especies acuáticas; encontrando buenos resultados productivos en camarones, mojarras y carpas ⁴⁹, evidenciando incluso buen crecimiento de la mojarra en (SB) cuando se disminuyó el porcentaje de proteína en su alimento comercial ^{49,62,70}. Otras investigaciones realizadas en carpas y camarones confirmaron estos hallazgos, concluyendo que el Biofloc podía ser utilizado como suplemento alimenticio, haciendo inclusión en dietas hasta en un 30%, con lo cual se evidenciaba un efecto positivo sobre la actividad enzimática digestiva de los animales y por ende mejores rendimientos de crecimiento ^{85,95}.

Por otra parte, se realizó un trabajo en el que se disminuyó la cantidad de alimento comercial a mojarras cultivadas en (SB), encontrando que fue posible reducir la ración de alimento en un 20% sin afectar la salud de los peces, la calidad de la carne, ni disminución de los parámetros productivos, además este estudio reporta que de las 17 diferentes especies de bacterias encontradas en el agua, 15 fueron identificadas en el intestino de las mojarras ⁷³, confirmando el rol como soporte alimenticio que tienen las bacterias del Biofloc en el mantenimiento de los índices de crecimiento y supervivencia de los peces, por su papel como probiótico.

En un estudio similar realizado recientemente en el pepino de mar *Apostichopus japonicus*, se reemplazó una ración del alimento comercial con harina de Biofloc en siete dietas, se observó que los niveles de suplementación de 20 y 30% de biofloc mejoraron significativamente la tasa de crecimiento, la eficiencia de conversión alimenticia y el índice de eficiencia de proteínas de los animales ³¹. Estos autores coinciden en argumentar que estos resultados se obtienen por los contenidos de bacterias probióticas y por los compuestos bioactivos del biofloc que favorecen un mejor aprovechamiento del alimento, al aumentar significativamente la actividad de las enzimas digestivas, que a su vez estimulan la digestión y la absorción.

El efecto de los Biofloc sobre la actividad enzimática digestiva, se confirmó en un trabajo en el que utilizaron alevinos de carpa (*Cyprinus carpio*), se determinaron los niveles de actividad de proteasa total, pepsina, amilasa, lipasa y fosfatasa alcalina, encontrando alta actividad de proteasa y pepsina, a pesar de que no se encontró una diferencia significativa en el caso de la actividad de lipasa, amilasa y fosfatasa alcalina entre los tratamientos; además se realizó histología hepática, y se encontró un aumento significativo en el tamaño y en el número de los hepatocitos ⁷⁰. Estos hallazgos coinciden con lo reportado en otras investigaciones donde inocularon probióticos comerciales a mojarras criadas en (SB) y coincidieron en confirmar que se promovía la actividad de enzimas digestivas tanto endógenas como exógenas ⁶⁸, por lo que los organismos cultivados eran capaces de aprovechar más eficientemente los nutrientes suministrados, consecuente con un mejor crecimiento, mejor condición de salud y una reducción de costos de alimento, siendo esta la razón por la cual el biofloc generado *in situ* promueve la digestibilidad de las proteínas a través del incremento en la actividad enzimática de los organismos cultivados ²³.

Estudios similares se realizaron en camarones obteniendo resultados parecidos ⁹⁵; en estos, se evaluó el efecto de enzimas digestivas (amilasa, proteasa, lipasa y celulasa), adicionando diferentes concentraciones de biofloc a la dieta del camarón *Penaeus monodon*; se demostró que suplementando con un 4 a 8% con biofloc al alimento tradicional, se incrementa significativamente la actividad de estas enzimas entre el 57,6 y el 78,6%; y se reporta un aumento del peso corporal entre 16.9 y 13.9% en comparación con el control, presentando una relación de conversión de alimentación significativamente mejor ².

A su vez, otros autores encontraron que estas dietas además mejoraron el rendimiento reproductivo de camarones al aumentar los indicadores de fecundidad, desove y composición bioquímica del huevo ^{40,42}; aspecto que no se ha estudiado aun en las especies piscícolas de interés económico en el país.

Se han demostrado tantos efectos positivos del Biofloc en la alimentación de peces, que incluso se ha llegado a investigar el efecto de dichos flóculos sobre la digestibilidad ruminal *in vitro* y la producción de gas en rumiantes, en esta investigación se utilizó un alimento experimental para bovinos (30% de forraje y 70% de concentrado) al cual se le adicionó 5 tratamientos, cada uno con diferentes concentraciones de biofloc: 0 (control), 0,5; 1, 1,5 y 2% ⁷⁶. El trabajo concluyó que los tratamientos que contienen biofloc, tenían un efecto positivo sobre la digestibilidad y la fermentación de las dietas experimentales, el tratamiento con el mayor nivel de inclusión en el alimento (2%), presentó la mayor cantidad de materia orgánica digerida, mayor degradabilidad de la pared celular y mayor digestibilidad de la FDN, evidenciando eficiencia de la biomasa microbiana ⁷⁶. Esto fue atribuido a la actividad de los aminoácidos del Biofloc; al aporte de niacina, coenzima que aumenta la síntesis de proteínas microbianas y causa un

aumento en la población de protozoos del rumen; y a la enzima glutamato deshidrogenasa, importante en la síntesis de proteínas y en la producción de energía. De otro lado se evidenció una mayor liberación de comunidad bacteriana (bacterias celulolíticas) a la biomasa, aumentando la eficiencia de la síntesis de proteínas microbianas ⁶⁷; por lo tanto, se puede inferir que el biofloc producido en piscicultura puede utilizarse como un suplemento alimenticio en rumiantes.

Papel probiótico de los Sistemas Biofloc

El Biofloc es considerado como una estrategia para el control de enfermedades por su potencial como "Probiótico" ⁴²; a esta tecnología innovadora se le ha denominado "Biolfoc biotecnológico" o "Biofoloc probiotico" ⁴, en los que se han identificado los "Compuestos Bioactivos de los Bioflocs" representados por carotenoides, clorofilas, fitoesteroles, bromofenoles, amino azúcares y compuestos anti bacterianos ²⁸, a los que se les atribuye un papel importante en el fortalecimiento de los mecanismos de crecimiento de peces y camarones; en la mejora de las tasas de supervivencia; y en el desarrollo y la estimulación de algunos mecanismos de defensa del sistema inmunológico innato de los peces y camarones; razón por lo cual, se han considerado a los (SB) como una alternativa interesante en el manejo de la sanidad de estas especies, por los efectos potenciadores que se han atribuido a los Compuestos Bioactivos ⁵³. Aunque no son muchas las investigaciones en este tema, se ha logrado correlacionar la presencia de estos Compuestos Bioactivos con indicadores de bienestar general de los organismos acuáticos ⁶⁰.

Esta capacidad probiótica se ha encontrado tanto en cultivos de peces como de camarones, y también ha sido atribuida al polihidroxibutirato ⁵¹, metabolito empleado por ciertas bacterias como una forma de almacenamiento de energía, y hallado en grandes cantidades en momentos de estrés o en la muerte de las bacterias de los Bioflocs ²⁸, que junto al acetato de polihidroxilo tienen un papel importante en el control de la proliferación de algunos microorganismos patógenos, y desempeñan un importante papel como probióticos y estimulantes naturales ³.

Adicionalmente, se encontraron en los (SB) compuestos denominados "Inmunosacáridos", que son alimentos no digeribles que estimulan el crecimiento de determinadas bacterias benéficas en el colon de los animales cultivados y están relacionados con los carbohidratos provenientes de la fuente de carbono que se añade al estanque para equilibrar la relación C:N ⁵¹; por otro lado, los carotenoides del Biofloc, además de hacer aportes nutricionales, tienen un papel en la estimulación del sistema inmunológico de los animales ^{3,29,50}.

En camarones criados en (SB) se evaluó la actividad de la enzima superóxido dismutasa en su hemolinfa; esta enzima desempeña un papel relevante en la activación del sistema inmune del camarón, encontrando además un mejor rendimiento fisiológico al compararlos con animales criados tradicionalmente ¹⁷; pese a estos hallazgos, es poca la investigación realizada con estos compuestos inmunoestimuladores y bioactivos presentes en el Biofloc, para entender los potenciales efectos inmunomoduladores relacionados con la optimización del estado sanitario de peces y camarones, pese a los efectos positivos que ya se han reportado.

Otros reportes confirman el papel inmunoestimulante de los (SB) mediante la ingestión de los flóculos, ya que algunas bacterias ingresan vivas y activas al animal y de esta manera activan el sistema inmunitario del huésped, ya sea como microbios viables o componentes microbianos ^{50,52}.

Se ha determinado que los microorganismos probióticos encontrados en los (SB) como *Bacillus cereus* y *Bacillus licheniformis* mejoran la inmunidad de los cultivos de especies acuícolas como peces, camarones y gambas, entre otras especies ⁴⁹; ya que la población de estos microorganismos benéficos es alta y los componentes microbianos de su pared celular, tienen sustancias con alto potencial para activar el sistema inmune ²⁹. Este tipo de bacterias que se encuentran en el intestino de los organismos huésped, también tiene un papel importante en el desarrollo de la inmunidad mediante la formación de una barrera física que actúa como mecanismo de defensa contra la invasión de patógenos por competencia de nicho ecológico; además este tipo de probióticos aumentan la cantidad de hemocitos totales ofreciendo protección a los animales contra infecciones, al activar células inmunitarias. Se ha demostrado que dietas que contienen bacterias ácido-lácticas, reducen la adherencia y colonización de patógenos y tiene un papel inmunomodulador, mejorando la salud de los peces ⁷¹.

El efecto probiótico de los Bioflocs se ha potencializado con la adición de cepas bacterianas probióticas, buscando mejorar la capacidad como control biológico y al mismo tiempo fortaleciendo la multiplicación de bacterias benéficas del flóculo. En este contexto, se han reportado resultados de trabajos relacionados con la adición de probiótico comerciales a los (SB) en peces ⁶⁸, en los que evaluaron la actividad enzimática de los peces (leucina aminopeptidasa, quimotripsina, tripsina, proteasas alcalinas totales, fosfatasa y α -amilasa), encontrando que la supervivencia fue del 96%, y la producción neta de biomasa logró un 43% más que en el sistema control. Los autores, demostraron además que la adición de probiótico comercial mantuvo la calidad de agua, mejoró la conversión alimenticia, aumentó la tasa de eficiencia protéica y la tasa de crecimiento; algunos parámetros biológicos de los peces como el hematocrito y el índice hepatosomático se encontraron dentro de los rangos óptimos ⁶⁸; con ello se confirma que la adición de probióticos comerciales a los (SB) promueve la actividad enzimática, permitiendo aprovechar mejor el alimento y obteniendo una mayor producción, pero manteniendo la salud de los animales.

Aportes de los Sistemas Biofloc a la bioseguridad de los estanques

Los (SB) garantizan la bioseguridad en la piscicultura mucho más que los sistemas tradicionales, pues al haber mínimo recambio de agua, disminuye la posibilidad de la entrada de patógenos y enfermedades ^{4,68}, blindando y garantizando la sanidad de la producción.

En trabajo realizado por los autores, se determinó la presencia de microorganismos patógenos: Coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas tratadas con (SB) durante el ciclo productivo de las mojarras; este análisis se realizó en un laboratorio de referencia en la región, mediante el Test de Colilert®. Se evidenció la presencia de *E. coli* y C. totales en grandes cantidades, pero no se vio afectada la sanidad ni la productividad de los peces del cultivo, concluyendo que los (SB) inhibían el potencial patógeno de algunos microorganismos sobre los animales de producción. Situación similar se reporta en algunas investigaciones en las que, tanto en el agua de cultivo como en el intestino de las mojarras, se hallaban bacterias patógenas en las que incluía *E.coli*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Klebsiella sp* entre otras, llegando a identificar en muestras de intestino, nueve especies de bacterias patógenas y seis no patógenas; pero no se evidenciaban síntomas de enfermedad en los animales y por el contrario, los peces mantenían óptimo estado de salud; reportando incluso supervivencias de 90,32% en

comparación al grupo control cultivado en agua tradicional en donde la supervivencia fue solamente del 84,5% [36.85](#).

Recientemente en un trabajo que buscaba reducir los brotes de enfermedades en la producción camaronera, se combinaron dos prácticas de bioseguridad: Los (SB) y el uso de manoproteínas como prebióticos en el alimento, evaluando el rendimiento productivo, la respuesta inmune, y la morfología de las vellosidades intestinales del camarón *L. vannamei* posterior a una exposición experimental con *Vibrio parahaemolyticus*; los autores concluyeron que en animales que fueron alimentados con suplementos dietéticos con prebióticos, las vellosidades intestinales presentaron una mayor área superficie, mejoró la supervivencia en un 10% en comparación con el grupo control y se evidenció una mayor producción de aniones superóxido; demostrando la efectividad de combinar estas dos prácticas de bioseguridad en estanques camaroneros susceptibles a enfermedades por el manejo de altas densidades de producción [83](#). Este trabajo en consecuente con otros hallazgos en la evaluación de la efectividad del sistema inmune de camarones *Litopenaeus vannamei* criados en (SB) y sometidos a una infección experimental con *Vibrio harveyi*, donde la respuesta se asoció con un significativo aumento de proteínas del sistema de defensa (superóxido dismutasa y catalasa), acompañado por la activación de los genes relacionados con la respuesta inmune (superóxido dismutasa, macroglobulina alfa2, propenoloxidasa, macroglobulina alfa2, propenoloxidasa) [1](#), estos resultados apoyan el postulado de que los (SB) tiene un papel importante en el control de la presentación de patologías mediante la mejora de la respuesta inmune del camarón [1.83.85](#).

En otros trabajos realizados en la India en camarones [71](#), se encontró que la relación C:N también influía positivamente en la expresión de genes relacionados con el sistema inmunitario, pues la expresión de estos era significativamente mayor conforme la relación C:N aumentaba en los estanques. El análisis de la expresión génica mostró que los niveles de transcripción de genes relacionados con la inmunomodulación en camarones aumentaron; el gen nuclear relacionado con el RAS se encontró aumentado hasta 2,6 veces más en animales de estanques que tenían una relación C:N de 15 en comparación con animales criados de manera tradicional, de igual manera ocurrió con la transcripción del gen de la serina proteinasa (SP) al aumentar 1,8 veces y la enzima activadora de la fenoloxidasa (PPAE) que aumentó 2,5 veces [71](#); por lo que se concluye que la mejor regulación inmunitaria en camarones en (SB) se da con la relación C:N de 15; sin embargo, se hace necesario extrapolar estos hallazgos en especies piscícolas, principal eje de la producción acuícola del país.

Con estos hallazgos se demuestra que se puede optimizar los beneficios sanitarios que ofrecen los (SB) en las producciones acuícolas al combinar técnicas como la suplementación con prebióticos y el adecuado manejo de la relación C:N para la composición de la comunidad bacteriana del sistema [71.95.96](#); obteniendo además, efectos benéficos para la calidad del agua, al eliminar compuestos y metabolitos nitrogenados potencialmente tóxicos para los peces (nitritos y nitratos) mediante su recaptación y reciclaje en proteína bacteriana aprovechable por los organismos acuáticos; lo que redunda en beneficio del rendimiento productivo de los animales y en el mantenimiento de la sanidad de las especies acuáticas de producción.

Productividad económica de los Sistemas Biofloc

En Colombia son pocos los estudio realizados sobre este tema, sin embargo, en relación a la productividad económica de estos sistemas, es importante considerar lo reportado por el Informe General del Estudio de Prospectiva Tecnológica de la Cadena Colombiana de la Tilapia ⁹⁰, que refiere que los costos de producción de 1 kg de mojarra en sistemas tradicionales oscilaban entre los \$3.650. Sin embargo en investigaciones realizadas en Antioquia varios años después, se encontró que la producción de 1 kg de pescado en (SB) empleando un alimento con proteína netamente de origen vegetal, fue de \$3.148, mucho menor a los costos reportados ocho años atrás para sistemas tradicionales; de este valor, el mayor costo de producción era el alimento entre el 49,2 y 63,3%; seguido por la energía empleada para el sistema de aireación y recirculación que garantice el bienestar de los animales del cultivo y el mantenimiento del sistema con un 10,3 – 14,2%; y otros insumos que representaron el 1% del total ²². A pesar de que en este estudio no se obtuvieron los rendimientos esperados, los resultados obtenidos permiten sugerir viabilidad comercial por los altos rendimientos obtenidos (11,4 kg/m³ y sobrevivencias mayores al 80%) en comparación con los sistemas de piscicultura tradicional ^{22,90}. En contraposición, para otros autores, el mayor costo de producción estaba representado por la compra de los alevinos con un 46%, seguido por el alimento con un 37% ^{42,96}.

Por otra parte, en Cundinamarca, se realizó un estudio de pre factibilidad para implementar una granja piscícola superintensiva con sistema Biofloc de mojarra en estanques de geomembrana; este estudio concluyó que la Tasa Interna de Retorno es de 36,06% con lo que se determina que este proyecto en particular es viable, ya que para Colombia se tiene referencia que proyectos con TIR superior al 32% son rentables; además concluyeron que los ingresos del sistema superan a los gastos en un 36% ⁴. De acuerdo a experiencias de los autores sin reportar, ese porcentaje coincide con la rentabilidad esperada, sin embargo es importante considerar que las condiciones ambientales, sociales, económicas y políticas de la región son aspectos que repercuten de manera directa la rentabilidad de un sistema piscícola; por otro lado, el mayor costo de producción evidenciado ha sido relacionado con la infraestructura y la puesta en marcha de los equipos de aireación y recirculación, costos que se compensan con los ingresos obtenidos de la alta productividad por unidad de área, pues el sistema hace más eficientes los recursos empleados en la producción.

En términos generales, desde el punto de vista económico, los (SB) se consideran como una muy buena alternativa económica, pues reducen los costos de producción al disminuir el requerimiento de alimento de los peces, especialmente si son peces filtradores como la mojarra, ya que los flóculos hacen un aporte nutricional en proteína; y de otro lado, este tipo de sistemas manejan "Mínimo o Cero Recambio de Agua" lo que representa menos gastos al productor ^{11,35}. Esta eficiencia se incrementa al implementar el uso de prebióticos y probióticos, que incluso se considera factible a nivel comercial, pues reduce en un 72,4% los costos de producción por kilogramo de biomasa ganada ⁶⁸, aunado a la disminución de costos en el uso del agua, reducción de consumo de alimento comercial por producción de proteína de alta calidad, aumento de la producción de biomasa y un valor por servicios ambientales con la reducción de los desechos y del impacto ambiental, servicios a los que aún no se les ha asignado un valor económico, pero que tienen un invaluable efecto ambiental ⁴.

Conclusión

Desde el punto de vista nutricional, esta tecnología desempeña un papel importante no solo con la inmovilización de nitrógeno y aprovechamiento en proteína microbiana de excelente calidad y la consecuente incorporación a la cadena trófica del estanque, haciendo una eficiente recuperación y aprovechamiento del nitrógeno del sistema de cultivo, por lo cual contribuyen como fuente de alimento *in situ*, con un excelente aporte nutricional a muy bajo costo, haciendo más eficiente la producción piscícola y camarnera.

La tecnología Biofloc es útil para controlar y mantener la calidad del agua en un sistema de producción superintensiva de peces con mínimo o cero recambios de agua, mitigando los impactos ambientales negativos generados por las descargas de agua provenientes de la piscicultura, ya que remueven los desechos metabólicos de los sistemas de producción piscícola al aumentar el reciclaje de nutrientes (convierte desechos en proteína bacteriana), por la asociación de sus comunidades microbianas aerobias con la alta materia orgánica presente en los estanques; manteniendo el balance del carbono y del nitrógeno en el sistema, retirando estos compuestos del agua, en forma de biomasa bacteriana. De esta manera conservan bajos los niveles de metabolitos potencialmente dañinos y se mantienen relativamente estables los parámetros físico químicos (pH, nitritos, nitratos, amoniaco, color, turbidez) reduciendo la eutrofización y evitando el continuo recambio de agua; siendo esto un aporte importante a la sostenibilidad ambiental de la producción piscícola, generando importantes servicios ambientales.

Además de ser un alimento completo y de excelente calidad, sus compuestos bioactivos que estimulan los mecanismos de crecimiento, supervivencia y defensa de peces y camarones, mejorando los indicadores de bienestar de los organismos acuáticos; además del aporte del Biofloc a la sanidad y bioseguridad del sistema piscícola pues se ha evidenciado su papel como probiótico natural, estimulante del sistema inmune innato de los animales y controlador de bacterias patógenas, que sumado al rendimiento de producción, se puede considerar una estrategia económicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente aceptable.

Referencias

1. Aguilera D, Escalante K, Gaxiola G, Prieto A, Rodríguez G, Guerra E, Hernández J, Chávez M.C, Rodríguez R. Immune response of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, previously reared in biofloc and after an infection assay with *Vibrio harveyi*. Rev World Aquac Soci 2018; 1: 1-18.
2. Anand PS, Kohli MP, Kumar S, Sundaray JK, Roy SD, Venkateshwarlu G, Pailan GH. Effect of dietary supplementation of biofloc on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. Aquaculture 2014; 1: 108–115.
3. Ahmad I, Verma AK, Babitha Rani AM, Rathore G, Saharan N, Gora AH Growth, non-specific immunity and disease resistance of *Labeo rohita* against *Aeromonas hydrophila* in Biofloc systems using different carbon sources. Aquaculture 2016; 45: 61–67.
4. Ahmad, I., Babitha Rani, A.M., Verma, A.K. Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. Aquacult Int 2017; 25: 1215–1226.

5. Alzate H.A. Efecto de la fuente proteica del alimento sobre la calidad de la carne de la cachama blanca *Piaractus brachypomus* en un sistema de tecnología biofloc. Tesis de Maestría. Grupo de Investigación BIOGEM, Departamento de Producción Animal, Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 2017. 94 p.
6. Amezquita Y, Barrera R. Desarrollo de un estudio de pre factibilidad para la implementación de una granja piscícola superintensiva de tilapia roja (*Oreocromis sp*) con sistema Biofloc (BFT) en estanques de geomembrana para reducir el déficit en la producción piscícola en Villegas Cundinamarca. Línea de investigación en Ciencia, Tecnología e Investigación. Especialización Gerencia de Proyectos. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Sede Virtual y a Distancia. Bogotá D.C, Colombia. 2017. P 42.
7. Asaduzzaman M, Wahab MA, Verdegem MCJ, Benerjee S, Akter T, Hasan MM, Azim ME. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. Aquaculture 2009; 287 (3): 371–380.
8. Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura – AUNAP y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. Plan Nacional para el Desarrollo de la Agricultura en Colombia Sostenible en Colombia PLANDAS. Convenio FAO. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, 2014. (Acceso: 23 de febrero de 2018). URL: <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-Acuicultura-Sostenible-Colombia.pdf>
9. Avnimelech Y. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. Aquaculture Eng 2006; 34 (3): 172–178.
10. Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. Aquaculture 2007; 264: 140–147.
11. Avnimelech Y, Kochba M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in Biofloc tanks, using N tracing. Aquaculture 2009; 287:163–168.
12. Avnimelech Y. Biofloc Technology: A Practical Guidebook. 3a Edición. Jerusalen: Edit World Aquaculture Society; 2015. 258 p.
13. Ayazo JE, Pertuz VM, Espinosa JA, Jiménez CA, Atencio VJ, Prieto MJ. Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 2018; 16 (1): 91-101.
14. Azim ME, Little DC. The Biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, Biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 2008; 283: 29–35.
15. Bautista J, Ruiz J. Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. Revista Fuente. 2011; 3 (8): 1-5.

16. Ballester EL, Abreu PC, Cavalli RO, Emerenciano M, de Abreu L, Wasielesky JW. Effects of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepeneus spaulensis* juveniles nursed in zero exchange suspended microbial flocs intensive system. Aquac Nutr 2010; 16: 163–172.
17. Becerra M, Martinez LR, Martínez M, Hernández J, López JA, Mendoza F. Effect of using autotrophic and heterotrophic microbial-based-systems for the pre-grown of *Litopenaeus vannamei*, on the production performance and selected haemolymph parameters. Aquac Res 2014; 45 (5): 944-948.
18. Becerril D, Monroy Mc, Coelho Mg, Emerenciano, Castro G, Schettino Bs, Vela G. Effect on nutritional composition of produced bioflocs with different carbon sources (Molasses, coffee waste and rice bran) in Biofloc system. Inter Jour Fisher and Aquatic Studies 2018; 6 (2): 541-547.
19. Benavides LA, López WA. Evaluación del efecto del Biofloc en la producción de alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en condiciones de laboratorio. Tesis de pregrado. Programa de Ingeniería en Producción Acuícola, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 2012. 142 p.
20. Browdy CL, Bratvold D, Stokes AD, McIntosh RP. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems In: The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp. Farming World Aquaculture Society 2001; 1: 20–34.
21. Brú SB, Pertúz, V M, Ayazo J E, Atencio V J, Pardo S C Bicultivo en Biofloc de cachama blanca *Piaractus brachypomus* y tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* alimentadas con dietas de origen vegetal. Rev Med Vet Zoot 2017; 64 (1): 44-60.
22. Bru SB. Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Desempeño productivo del cultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus*, tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*, alimentadas con proteína de origen vegetal y composición nutricional del biofloc. Tesis de Maestría. Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 2016, 79 p.
23. Caldini NN, Cavalcante DH, Roberto P, Rocha N. Feeding Nile tilapia with artificial diets and dried bioflocs biomass. Acta Scientiarum. Animal Sciences 2015; 37 (4): 335–341.
24. Carvajal JP. Comparación de Parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de precría de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en el Municipio de Puerto Triunfo. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Corporación Universitaria Lasallista. Caldas, Antioquia. 2014. 61 p.
25. Claros, J. Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 2012. 254 p.
26. Collazos LF, Arias JA. Fundamentos de la tecnología Biofloc (BFT) Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Rev Orinoq 2015; 19 (1) :77-86.

27. Crab R, Chielens B, Wille M, Bossier P, Verstraete W. The effect of different sources on the nutritional value of Bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquac Res* 2009; 41: 559–567.
28. Crab R. Bioflocs technology: An integrated system for the removal of nutrients and simultaneous production of feed in aquaculture. Doctor thesis (PhD) Applied Biological Sciences, Environmental technology, Faculty of Bioscience, Engineering Ghent University. Belgium. 2010. 196 p.
29. Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquac* 2012; 356-357: 351–356.
30. Chaignon V, Lartiges, BS, Samrani E, Mustin C. Evolution of size distribution and transfer of mineral particles between flocs in activated sludges: an insight into flocs exchange dynamics. *Water Res* 2002, 36 :676-684.
31. Chen J, Liu P, Li Y, Li M, Xia B. Effects of dietary biofloc on growth, digestibility, protein turnover and energy budget of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenga) *Anim Feed Scien Techno* 2018; 241:151–162.
32. Decreto 1985 de 2013 del 12 de septiembre 2013, por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y se determinan las funciones de sus dependencias. 2013. (Acceso: 15 de enero de 2019). URL: <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Decretos/Decreto%20No.%201985%20de%202013.pdf>.
33. Decreto 2667 del 21 de diciembre del 2012. Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. 2012. (Acceso: 15 de enero de 2019). URL: <http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=51042>.
34. Deng M, Chen J, Gou L, Hou J, Li D, He X. The effect of different carbon sources on water quality, microbial community and structure of biofloc systems. *Aquac Res* 2018; 482: 103-110.
35. De Schryver P, Crab R, Defoirdt T, Boon N, Verstraete W. The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. *Aquac Res* 2008; 277: 125–137.
36. Dauda AB, Romano N, Chen WW, Natrah I, Kamarudin MS. Differences in feeding habits influence the growth performance and feeding efficiencies of African catfish (*Clarias gariepinus*) and lemon fin barb hybrid (*Hypsibarbus wetmorei* × *Barboides gonionotus*) in a glycerol-based biofloc technology system versus a recirculating system. *Aquac Engin* 2018; 82: 31–37.
37. Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquac Res* 2006; 257: 346–358
38. Ekasari J, Angela D, Waluyo SH, Bachtiar T, Surawidjaja EH, Bossier P, De Schryver P. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquac Res* 2014; 426-427: 105–111.

39. Ekasari J, Azhar MH, Surawidjaja EH, Nuryati S, Schryver PD. Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. *Fish and Shellfish Immun* 2014; 41: 332- 339.
40. Emerenciano M, Ballester EL, Cavall RO, Wasielesky W. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis*. *Aquac Res* 2012; 43: 447-457.
41. Emerenciano M, Cuzon G, Goguenheim J, Gaxiola G. Floc contribution on spawning performance of blue shrimp *Litopenaeus stylostris*. *Aquac Res* 2011; 44 (1): 75-85.
42. Emerenciano M, Gaxiola G, Cuzon G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass now: cultivation and utilization*. Edit Tech Rijeka. Croatia 2013; 1: 301-328. (Acceso: 19 de febrero de 2018). URL: <http://sci-hub.tw/10.5772/53902>
43. FAO. Colombia Pesca en cifras 2014, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, 2015. (Acceso: 3 de enero de 2017) URL: http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/05/Pesca_en_cifras.pdf
44. Gaona CA, Poersch LH, Krummenauer D, Foes GK, Wasielesky W. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a Biofloc technology culture system. *Inter Jour of Recirc Aquac* 2011; 12: 54-73.
45. Garatun-Tjeldsto O, Ottera H, Julshamn K, Austreng E. Food ingestion in juvenile cod estimated by inert lanthanide markers effects of food particle size. *Journal of Marine Science*. 2006; 63 (2): 311-319
46. González. E.A. Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago Guamuez, Nariño. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 2017. 151 p
47. Gutiérrez, F. Los recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 2010. (Acceso: 01 de abril del 2018). URL: <http://www.humboldt.org.co/es/i2d/item/378-los-recursos-hidrobiologicos-y-pesqueros-continentales-de-colombia>
48. Hargreaves JA. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquac Eng* 2006; 34 (3): 344-363
49. Hargreaves JA. Biofloc Production Systems for Aquaculture Southern Regional. Aquaculture Center Publication 2013; 450 3 :1-12.
50. Jang IK, Pang Z, Yu J, Kim SK, Seo HC, Cho YR. Selectively enhanced expression of prophenoloxidase activating enzyme 1 (PPAE1) at a bacteria clearance site in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* BMC. *Immunology* 2011; 12: 70-80.
51. Jendrossek D, Handrick R. Microbial degradation of polyhydroxyalkanoates. *Annual Review Microbiology* 2002; 56: 403-432.

52. Johnson CN, Barnes S, Ogle J, Grimes DJ, Chang YJ, Peacock AD, Kline L. Microbial community analysis of water, foregut, and hindgut during growth of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in closed-system aquaculture. World Aquac Soc 2008; 39 :251–258.
53. Ju ZY, Forster I, Conquest L, Dominy W. Enhanced growth effects on shrimp, *Litopenaeus vannamei* from inclusion of whole shrimp floc or floc fractions to a formulated diet. Aquac Nutr 2008; 14: 533–543.
54. Kubitzka, F. Criação de tilapias em sistemas com bioflocos sem renovação de agua. Panorama da Aquicultura 2011; 2 (125): 14-23.
55. Kuhn DD, Boardman GD, Lawrence AL, Marsh L, Flick GJ. Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. Aquac Res 2009; 296: 51–57.
56. Ladino G Rodriguez, J. Efecto de *Lactobacillus casei*, *saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustris* (microorganismos eficientes) y melaza, en la ganancia de peso de mojarras *Oreochromis sp* en condiciones de laboratorio. Rev Orinoq 2009; 13 (1): 31-36.
57. Leite PH, Barbosa L, Moura MF, Martins TX, Povh JA, Caetano, RA, Correa F. Sistema Bioflocos. Anais da X Mostra Científica Famez, Fundacao Universidade Federal de Mato Grosso do sul Servico Publico Fedederal, Ministerio da Educacao. Campo Grande. 2017: 308-313. (Acceso: 23 de julio de 2018). URL: <https://famez.ufms.br/files/2015/09/SISTEMA-BIOFLOCOS.pdf>
58. Ley 13 del 15 de enero de 1990; por la cual se dicta el Estatuto General de Pesca. 1990. (Acceso: 20 de diciembre de 2018). URL: https://www.sinchi.org.co/files/leyes%20y%20decretos/ley_0013_150190.pdf
59. Ley 99 del 22 de diciembre de 1993, Ley General Ambiental de Colombia. Diario Oficial No. 41.146, de 22 de diciembre de 1993. (Acceso: 15 de diciembre de 2018). URL: https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf
60. Linan-Cabello M, Paniagua-Michel J, Hopkins P. Bioactive roles of carotenoids and retinoids in crustaceans. Aquac Nutr 2002; 8 (4): 299–309.
61. McAbee BJ, Browdy CL, Rhodes RJ, Stokes AD. The use of greenhouse-enclose-drace-way systems for the super intensive production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in the United States Global. Aquaculture Advocate 2003; 6: 40-43.
62. Mahanand SS, Moulick S, Rao PS. Water quality and growth of Rohu, *Labeo rohita*, in a Biofloc system. Jour Appl Aquac 2013; 25 (2): 121–131.
63. Maicá PF, MR Borba, W Wasielesky. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. Aquac Res 2012; 43: 361-370.

64. Merchán L.A. Dinámica del biofloc en cultivo intensivo de post- larva del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en un sistema de raceways. Tesis de pregrado. Escuela de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad, Ecuador. 2014. 139 p.
65. Merino M, Salazar G, Gómez D. Guía práctica de piscicultura en Colombia, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. Bogotá DC. 2006. (Acceso: 11 de enero de 2017). URL: <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Guia-Practica-de-Piscicultura-en-Colombia.pdf>
66. McIntosh R. Changing Paradigms in Shrimp Farming: Establishment of heterotrophic bacterial communities. Global Aquaculture Alliance 2001; 4: 53-58.
67. Monroy MC, De Lara R, Castro J, Castro G, Coelho MG. Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 2013; 48 (3): 511-520.
68. Muñoz, VN Contribución del biofloc inoculado con diferentes probióticos sobre el crecimiento y niveles de actividad enzimática digestiva en juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus* Var SPRING). Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Baja California. México. 2018 77 p.
69. Nadalin DO, López HL. *Brycon orbignyanus* Valenciennes. Rev Ciencia y Naturaleza 2010; 19: 29-30.
70. Najdegerami EH, Bakhshi F, Lakani FB. Effects of Biofloc on growth performance, digestive enzyme activities and liver histology of common carp (*Cyprinus carpio L*) fingerlings in zero-water exchange system. Fish Physioloogy Biochemical 2016; 42: 457–465.
71. Panigrahi A, Saranya C, Sundaram M, Vinoth SN, Vinoth SR, Rasmi RD, Satish R, Rajesha P, Otta SK. 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 and Shellfish Immun 2018; 81: 329-337.
72. Pasco MJ. Aeraçãoem cultivos superintensivos de tilapias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água. Tese Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura Centro De Ciências Agrárias Departamento De Aquicultura Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis. Brasil, 2015. 120 p.
73. Pérez JA, Pérez CI, Hernández MP, Monroy MC. Variation of the bacterial composition of biofloc and the intestine of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, cultivated using biofloc technology, supplied different feed rations. Aquac Res 2018; 49: 3658–3668.
74. Poleo G, Aranbarrio JV, Mendoza L, Romero O. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. Pesq. Agropec. Bras. 2011; 46 (4): 429-437.

75. Poli MA, Chamorro E, de Lorenzo MA, Martins A, Nascimento F. Pacific white shrimp and Nile tilapia integrated in a biofloc system under different fish-stocking densities. *Aquac Res* 2019; 498: 83-89.
76. Pormohammad A, Mohammadabadi T, Chaji M, Mirzadeh K, Marammazi JG. Study of biofloc production from fish breeding system and using as supplement in ruminant diet. *Iraqi Academic Scientific Journals* 2018; 17 (1): 9-20.
77. Puspita EV, Sari RP. Effect of different stocking density to growth rate of catfish (*Clarias gariepinus*, Burch) cultured in biofloc and nitrobacter media. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan* 2018; 6 (2) 563-567.
78. Quintero SC, Tolosa MA. Aguilar OX. Tecnología del biofloc en un cultivo de mojarra roja (*Oreochromis sp.*) en la etapa de levante. *Revista Innovando en la U. Universidad Libre.* 2013; 5 (4): 1-10.
79. Ray A, Seaborn G, Leffler J, Wilde S, Lawson A, Browdy C. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquac Res* 2010; 310: 130-138.
80. Ray A, Lotz J. Comparing a chemoautotrophic-based biofloc system and three heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate sources. *Aquac Res* 2014; 63: 54-61.
81. Rego MA , Sabbag OJ, Soares R, Peixoto S. Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* farm: a case study in the state of Pernambuco, Brazil. *Aquac Internat* 2016; 25 (1): 473-483.
82. Roldan, G. y Ramírez, J. Fundamentos de Limnología Neotropical. Segunda edición. Universidad de Antioquia, Colombia. 2008; 440 p.
83. Rodriguez MS, Bolívar N, Legarda EC, Guimaraes AM, Guertler C, do Espírito Santo CM,do Nascimento Vieira F. Mannoprotein dietary supplementation for Pacific white shrimp raised in biofloc systems. *Aquac Res* 2018; 488: 90-95.
84. Rodriguez JA, Cruz PE, Mira TM. Aspecto spreliminares en híbridos de *Pseudoplatystoma metaense* (Bragre rayado) y *Leiarius marmoratus* (Yaque) Jornada XXIII de Acuicultura – Instituto de Acuicultura de los Llanos, Universidad de los Llanos. 6 de octubre de 2017.
85. Sajali, US, Atkinson NL, Desbois AP, Little DC, Murray FJ, Shinn AP. Prophylactic properties of biofloc- or Nile tilapia-conditioned water against *Vibrio parahaemolyticus* infection of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquac Res* 2019; 498: 496-502.
86. SEPEC. Servicio Estadístico Pesquero Colombiano. AUNAP Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. MADR Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. 2016 (Acceso: 12 de marzo de 2019). URL: <http://sepec.aunap.gov.co/InformesAcuicultura/ProduccionAnual>.
87. Sgnaulin T, de Mello GL, Thomas MC, Garcia JRE, de Oca GARM, Emerenciano MGC. Biofloc technology (BFT): An alternative aquaculture system for piracanjuba *Brycon orbignyanus*. *Aquac Res* 2018; 485: 119-123.

88. SIOC. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. Subcomité de Acuicultura. MADR Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. 2019. (Acceso: 13 de marzo de 2019). URL: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Pages/default.aspx>
89. Tacon A, Cody JJ, Conquest LD, Divakaran S, Forster IP, Decamp OE. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (bonne) fed different diets. Aquac Nutr 2002; 8: 121–137.
90. Usgame D, Usgame G, Valverde C, Espinosa A. Informe General del Estudio de Prospectiva Tecnológica de la Cadena Colombiana de la Tilapia en Colombia Agenda productiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la tilapia Bogotá. Proyecto estudio de prospectiva tecnológica de la cadena colombiana de la tilapia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, 2008, 95p (Acceso: 20 de enero de 2019). URL: http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/575/Informe_final_con_correcciones_Tilapia.pdf
91. Wasielesky W, Atwood H, Stokes A, Browdy CL. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquac Res 2006; 258: 396–403.
92. Wasielesky W, Krummenauer D, Lara G, Foes G, Poersch L. Cultivo de camarón en sistemas biofloc: realidades y perspectivas. Revista Panorama Acuícola. 2013; 18 (6): 22-33.
93. Webster CD, Lim CE. Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. 1a Edition. New York. CABI Publishing; 2002. 421 p.
94. Wilen BM, Jin B, Lant P. The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculating properties. Water Res 2003; 37: 2127–2139.
95. Xu WJ, Pan LQ. 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. Aquac Res 2012; 356-357:147–152.
96. Xu WJ, Morris TC, Samocha TM. Effects of two commercial feeds for semi-intensive and hyper-intensive 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. Aquac Res 2018; 490: 194–202.
97. Wei YF, Liao SA, Wang A. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. Aquac Res 2016; 465: 88–93.
98. WNhi NHY, Da CT, Lundh T, Lan TT, Kiessling A. Comparative evaluation of Brewer's yeast as a replacement for fishmeal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*), reared in clear water or biofloc environments. Aquac Res 2018; 495: 654-660.
99. Zhao P, Huang J, Wang XH, Song XL, Yang C, Zhang XG, Wang GC. The application of Bioflocs technology in high-intensive, zero exchange farming systems of *Mar-supenaeus japonicas*. Aquac Res 2012; 354-355: 97-106.