

Tecnología Biofloc: Perspectivas de Aplicación en Procesos de Producción Piscícola Sostenible¹

Johana Gaitán Sánchez², Eduardo Javid Corpas Iguarán³, Gloria María Restrepo Franco⁴

Resumen

Introducción: la tecnología Biofloc, es un proceso de biorremediación que permite minimizar el intercambio de agua y su uso en los sistemas de acuicultura. **Objetivo:** presentar tendencias de las publicaciones científicas acerca de la tecnología Biofloc para producción piscícola, utilizando las herramientas de análisis bibliométrico. **Materiales y métodos:** se empleó la base de datos Web of Science, con una ecuación de búsqueda y procesamiento de la información apoyada por las herramientas BibExcel y VOSviewer. Se realizó un análisis sistemático en los documentos recuperados, teniendo en cuenta: tipo de cultivo, tiempo experimental, rendimiento de crecimiento y proteico, densidad poblacional, calidad del agua, características microbiológicas y fisiológicas del cultivo. Se determinaron

categorías en las cuales están definidos los estudios con relación a la tecnología y los principales desafíos identificados en la aplicación de la tecnología. **Resultados:** se encontraron 258 documentos, el 94,12 % correspondieron a artículos de investigación. La productividad fue mayor en 2014 y 2016. La Universidad Federal de Santa Catarina y la Universidad Federal de Rio Grande FURG en Brasil tienen la mayor producción. En coautorías se identificaron 18 nodos. El 59,3 % de los documentos reportaron investigaciones con camarón y el 18,99 % con tilapia. Los mejores tiempos de producción estuvieron en los rangos de 41-50 días (12,4 %), 21-30 días (11,24 %) y 51-60 días (9,68 %). La relación C: N no fue reportada en el 92,6 % de los trabajos. Sin embargo, el 3,48 % reportaron relaciones de 15:1 y el 1,16 % de 20:1. Las principales categorías fueron rendimiento (44,18 %) y

1 Artículo original derivado de la investigación "Tecnología Biofloc y perspectivas de aplicación en procesos de producción piscícola sostenible", realizado en la Universidad de Manizales, ejecutado en el periodo de 2020-2021, financiado por Universidad de Manizales y Universidad Católica de Manizales. Colombia.

2 Ingeniera Química. Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Grupo de Investigación Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad de Manizales, Manizales-Colombia. johanagaitansanchez@gmail.com / ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5737-7288>

3 Bacteriólogo. Especialista en Microbiología. Doctor en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Microbiología y Biotecnología Agroindustrial, Universidad Católica de Manizales, Manizales-Colombia. ecorpas@ucm.edu.co / ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7151-6237>

4 Bacterióloga. Especialista en Microbiología. Doctora en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad de Manizales, Manizales-Colombia. grestrepo@umanizales.edu.co / ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0443-0369>

Autor para Correspondencia: Johana Gaitán Sánchez, e-mail: johanagaitansanchez@gmail.com

Recibido: 15/05/2021 Aceptado: 31/05/2022

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

productividad (26,35 %). **Conclusiones:** la tecnología Biofloc representa una oportunidad para la sustentabilidad en prácticas acuícolas de especies. Se evidenció un crecimiento gradual en los procesos de investigación en los últimos años; los principales estudios están relacionados con el rendimiento en cuanto a

crecimiento y optimización de los procesos de conversión proteica en los cultivos analizados bien sean individuales o en policultivo.

Palabras clave: piscicultura, bibliometría, indicadores bibliométricos, sostenibilidad, análisis sistemático.

Biofloc Technology: Application Perspectives in Sustainable Fish Production Processes

Abstract

Introduction: Biofloc technology is a bioremediation process that allows minimizing the exchange of water and its use in aquaculture systems. **Objective:** to present trends in scientific publications about Biofloc technology for fish production, using bibliometric analysis tools. **Materials and methods:** the Web of Science database was used, with a search equation and information processing supported by the BibExcel and VOSviewer tools. A systematic analysis was carried out on the recovered documents, considering type of culture, experimental time, growth and protein yield, population density, water quality, microbiological and physiological characteristics of the crop. Categories were determined in which the studies related to technology and the main challenges identified in the application of technology are defined. **Results:** 258 documents were found, 94.12 % corresponded to research articles. Productivity

was higher in 2014 and 2016. The Federal University of Santa Catarina and Federal University of Rio Grande FURG in Brazil have the highest production. In co-authorship, 18 nodes were identified. 59.3 % of the documents reported investigations with shrimp and 18.99 % with tilapia. The best production times were in the ranges of 41-50 days (12.4 %), 21-30 days (11.24 %) and 51-60 days (9.68 %). The C:N ratio was not reported in 92.6 % of the studies. However, 3.48 % reported ratios of 15:1 and 1.16 % of 20:1. The main categories were performance (44.18 %) and productivity (26.35 %). **Conclusions:** Biofloc technology represents an opportunity for sustainability in species aquaculture practices. A gradual growth in research processes was evidenced in recent years; the main studies are related to the performance in terms of growth and optimization of the protein conversion processes in the analyzed crops, whether individual or in polyculture.

Keywords: fish farming, bibliometrics, bibliometric indicators, sustainability, systematic analysis.

Tecnología Biofloc: Perspectivas de Aplicación en Procesos Sustentables de Producción de Peixes

Resumo

Introdução: a tecnologia Biofloc é um processo de biorremediação que permite minimizar as trocas de água e seu uso em sistemas de aquicultura. **Objetivo:** apresentar tendências em publicações científicas sobre a tecnologia Biofloc para produção de peixes, utilizando ferramentas de análise bibliométrica. **Materiais e métodos:** foi utilizada a base de dados Web of Science, com equação de busca e processamento de informações apoiado pelas ferramentas BibExcel e VOSviewer. Foi efetuada uma análise sistemática dos documentos recuperados, tendo em consideração: tipo de cultura, tempo experimental, crescimento e rendimento protéico, densidade populacional, qualidade da água, características microbiológicas e fisiológicas da cultura. Foram definidas categorias nas quais são definidos os estudos relacionados à tecnologia e os principais desafios identificados na aplicação da

tecnologia. **Resultados:** foram encontrados 258 documentos, 94,12 % correspondiam a artigos de pesquisa. A produtividade foi maior em 2014 e 2016. A Universidade Federal de Santa Catarina e a Universidade Federal do Rio Grande FURG no Brasil têm a maior produção. Em coautoria, 18 nós foram identificados. 59,3 % dos documentos relataram investigações com camarão e 18,99 % com tilápia. Os melhores tempos de produção ficaram nas faixas de 41-50 dias (12, %), 21-30 dias (11,24 %) e 51-60 dias (9,68 %). A relação C: N não foi relatada em 92,6 % dos estudos. No entanto, 3,48 % relataram proporções de 15:1 e 1,16 % de 20:1. As principais categorias foram desempenho (44,18 %) e produtividade (26,35 %). **Conclusões:** A tecnologia Biofloc representa uma oportunidade para a sustentabilidade nas práticas de aquicultura de espécies. Um crescimento gradual nos processos de pesquisa foi evidenciado nos últimos anos; Os principais estudos estão relacionados com o desempenho em termos de crescimento e otimização dos processos de conversão de proteínas nas culturas analisadas, sejam individuais ou em policultura.

Palavras-chave: piscicultura, bibliometria, indicadores bibliométricos, sustentabilidade, análise sistemática.

Introducción

La producción piscícola a nivel mundial ha tenido un desarrollo tecnológico significativo en cuanto a la optimización de sus procesos, debido a la creciente demanda de alimentos de origen acuático. Uno de estos procesos es la tecnología Biofloc con la cual se implementan sistemas de recirculación de agua en los que no se utilizan filtros mecánicos, ni biológicos convencionales (Hernández *et al.*, 2019).

Los residuos orgánicos generados en la producción (heces, mucus de los peces y sobras de las raciones) son desintegrados y mantenidos en suspensión dentro de los propios tanques, sirviendo como sustrato para el desarrollo de bacterias heterotróficas. Estas bacterias se encargan de la depuración de la calidad del agua, utilizando compuestos nitrogenados potencialmente tóxicos para los peces (como amoníaco, nitrito o nitrato), la síntesis de proteínas y la biomasa microbiana que enriquecen los biofloc (Kubitza, 2011).

Para que esto ocurra en forma eficiente, es necesario mantener los niveles adecuados de oxígeno, pH, alcalinidad, temperatura y sólidos suspendidos en los tanques de cultivo. Otro aspecto importante es asegurar una relación carbono nitrógeno C: N próxima a 20:1 en los residuos orgánicos presentes en el agua, lo que se realiza a través de la adición de una fuente de carbono o la alimentación de los peces con ración de bajo contenido de proteína (Yu, 2020).

La tecnología Biofloc se ha desarrollado como una alternativa para disminuir los excesos de materia orgánica y nutrientes que generan daños ambientales y permite optimizar el proceso de producción acuícola ya que el intercambio de agua es limitado o nulo (Cardona *et al.*, 2015; Crab *et al.*, 2012), aprovecha los residuos de los alimentos, materia orgánica y compuestos inorgánicos tóxicos, resolviendo problemas de saturación de nutrientes a partir de su reciclaje (Avnimelech, 2007), tiene la capacidad de purificar agua y a su vez generar alimento para los peces de manera simultánea (Ogello *et al.*, 2014).

En Colombia, los cultivos acuícolas con Biofloc tienen gran importancia, ya que se han convertido en la alternativa para solucionar el conflicto de sistemas piscícolas que utilizan grandes volúmenes de agua, que ponen en riesgo la gestión del recurso hídrico, utilizando grandes extensiones de tierra que promueven producciones irregulares (Collazos-Lazo & Arias-Castellano, 2015). En el país se han desarrollado investigaciones en las cuales se revisan diferentes alternativas de producción en el análisis de variaciones de proteína (Brú-Cordero *et al.*, 2017), y las condiciones ambientales necesarias para llevar a cabo la implementación de cultivos en tecnología Biofloc (García & Álvarez, 2018), principalmente.

Teniendo en cuenta lo anterior, los estudios sobre estas tecnologías emergentes que impulsan la sostenibilidad de los territorios

proponen un mejor uso del suelo y el manejo racional de los recursos naturales ya que la optimización de estos se ha convertido en un desafío mundial (Guzman, 2013).

La producción científica acuícola utilizando la tecnología Biofloc, ha permitido conocer los factores importantes como calidad de agua, densidad poblacional acuática, rendimiento de crecimiento y ciclos de producción entre otros (Legarda *et al.*, 2018). Por lo tanto, se hace necesario hacer una exploración de las tendencias en el tema con el fin de evidenciar su avance en los últimos años y consolidar las brechas de conocimiento que se han identificado para continuar el avance en la investigación.

El análisis bibliométrico permite consolidar y evaluar la producción científica sobre este tema, utilizando métodos estadísticos que brindan información particular sobre un grupo de investigadores como la cantidad de literatura publicada y el número de citas de dichas publicaciones. Adicionalmente, las contribuciones se pueden visualizar definiendo una ecuación de búsqueda que permita obtener información relevante de citas, autores, instituciones, impacto de las publicaciones y países con mayor producción científica en el tema específico (Gómez, Gutierrez & Pinzón, 2005).

Mediante la implementación de indicadores bibliométricos es posible cuantificar el comportamiento de la producción bibliográfica y la comunicación científica en cualquier campo de la ciencia, a partir de dos importantes funciones: la descriptiva, en la medida que caracteriza el estado de un sistema y la valorativa, que juzga ese estado, según una perspectiva deseable (González, Guzmán & Chaviano, 2015).

Como herramientas de visualización se planteó el uso de los softwares BibExcel (Åström *et al.*, 2009) y VOSviewer (Van Eck &

Waltman, 2010), el primero permite analizar frecuencias generando matrices de relación y los datos extraídos pueden ser exportados a Excel y el segundo permite la construcción de redes de interacción de manera gráfica dependiendo de los criterios de búsqueda, respecto de autores, países y otros descriptores (Cervantes, 2018). De acuerdo con lo anterior, el propósito de esta investigación fue realizar el análisis bibliométrico y sistemático de temas relacionados con la tecnología Biofloc a partir de la base de datos Web of Science.

Materiales y Métodos

Tipo de Estudio y Material de Análisis

El análisis bibliométrico se realizó a partir de la información de la base de datos Web of Science, ya que es una de las principales fuentes de referencia para la evaluación de la investigación. La base de datos cuenta con revistas científicas de prestigio y visibilidad en las diferentes disciplinas (Archambault, 2009).

La búsqueda se realizó empleando la siguiente ecuación: *"biofloc and farm" OR "biofloc and meal" OR "biofloc and fish" OR "floc and fish" OR "biofloc and "water quality" OR "biofloc technology" OR "biofloc and shrimp" OR "biofloc and penaeu" OR "biofloc and Oreochromis" OR "biofloc and carassius"*, teniendo como ventana de observación el periodo comprendido entre 2010 y 2019 con la intención de ampliar el panorama y analizar la investigaciones e innovaciones. Para ello, se consideraron específicamente los documentos de tipología "artículos" o "revisiones" con enfoque en el tema.

Variables Bibliométricas

En la etapa inicial se establecieron los siguientes indicadores bibliométricos: número de publicaciones, países, autores y

su interrelación, instituciones universitarias y total de citaciones, indicadores de relación y colaboración, para generar mapas temáticos entre autores y países, y la co-ocurrencia de las palabras clave definidas.

Recopilación y Análisis de Datos Bibliométricos

La compilación de datos se realizó utilizando la ecuación de búsqueda descrita y descarga de los registros en formato de texto plano de la base de datos de Web of Science. Se emplearon las herramientas VOSviewer y BibExcel para la gestión de los indicadores bibliométricos, para la revisión de cálculos de frecuencia y las representaciones mediante tablas y gráficas en el programa de Microsoft Excel®.

Análisis Sistemático de los Documentos Recopilados

Se realizó la sistematización en la hoja de cálculo Excel de los documentos recopilados en las bases de datos, donde se identificaron las características: tipo de cultivo, tiempo de duración del experimento y relación C: N. Esta información fue analizada a partir del título, resumen y palabras clave. Posteriormente, se identificaron las principales categorías en las que estaban distribuidos los temas de los documentos analizados, y se determinó la frecuencia en cada categoría (productividad, rendimiento, calidad de agua, características microbiológicas y fisiológicas del cultivo, teoría Biofloc, otros).

Finalmente, con la información recopilada y el análisis realizado, se definieron los principales desafíos para el avance de aplicación de la tecnología Biofloc con potencial de apropiación en el país.

Resultados

En este estudio se identificaron un total de 258 documentos, en los cuales predominan los artículos de investigación con un 94,12 % (240 artículos) seguido de las revisiones de tema con un 3,14 %. Es importante destacar que el periodo de búsqueda estuvo comprendido entre el 01 de enero de 2001 a 01 de diciembre de 2019, donde el primer artículo fue registrado en 2004.

Indicadores de producción

La Figura 1 muestra la producción científica en el periodo definido, donde se evidencia una tendencia creciente en la divulgación de las investigaciones en el tema particularmente en los años 2014 y 2016, estas cifras pueden ser resultado del aumento en el interés en temas desde la perspectiva del uso eficiente del suelo y del recurso hídrico bajo metodologías de producción sostenible. Posterior al año 2016, se evidenció una leve disminución en la producción científica respecto al tema puntual.

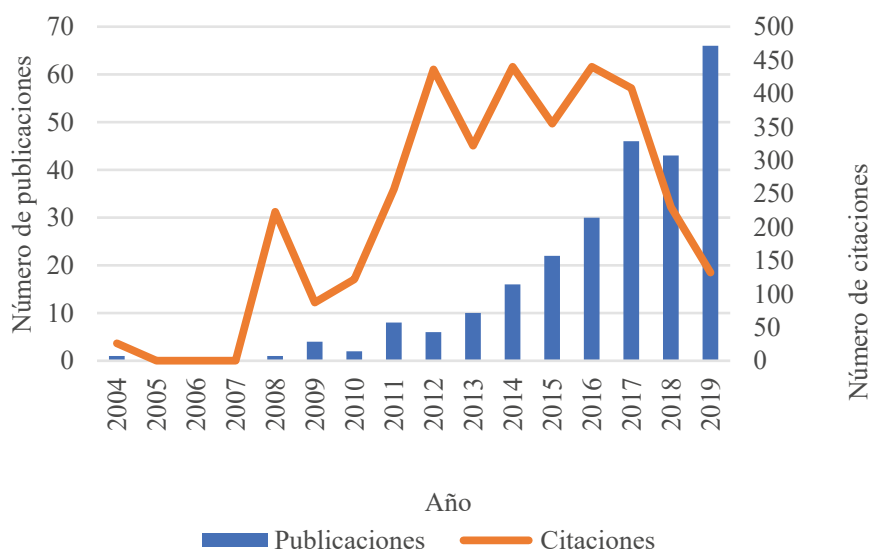


Figura 1. Producción científica sobre Biofloc por año.

Fuente: elaborada por los autores

Instituciones

La participación de las instituciones en los procesos de investigación juega un papel principal ya que poseen las condiciones económicas para el desarrollo y divulgación, permitiendo fortalecer un conocimiento en particular. Revisando este aspecto, en la Figura 2 se muestran las principales instituciones con mayor participación respecto al número de publicaciones obtenidas al utilizar la ecuación de búsqueda.

En el proceso de depuración de publicaciones se tomaron las 15 instituciones con mayor frecuencia de publicación. A partir de la Figura 2 se visualiza que las primeras dos instituciones son: Universidad Federal de Santa Catarina y Universidad Federal de Rio Grande FURG en Brasil. De igual manera la Universidad Federal Rural Pernambuco y Shanghai Ocean University desde el año 2012 y la Universidad Sonora desde el año 2015, realizan aportes significativos al conocimiento e implementación de este método.

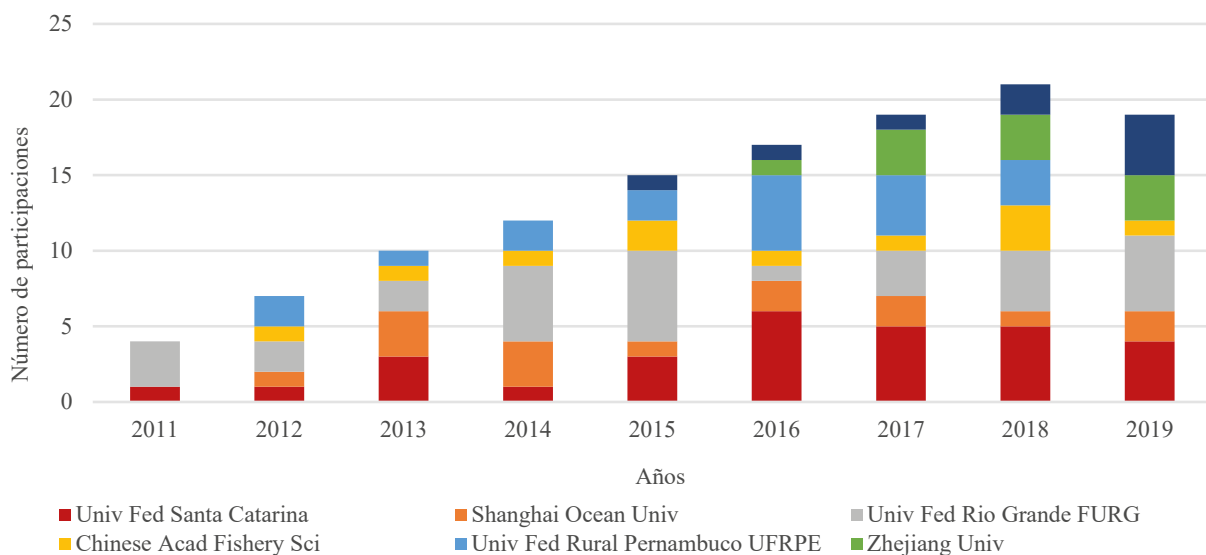


Figura 2. Principales instituciones participantes en relación con el número y año.

Fuente: elaborada por los autores

Utilizando la herramienta VOSviewer se realizó la relación de coautorías con mínimo tres documentos por organización, donde se identificó que 53 de 251 reúnen el umbral. En la Figura 3 se presentan 18 nodos donde los más destacados corresponden a las interacciones entre la Universidad Federal de Santa Catarina y la Universidad Sonora en temas asociados a ahorro significativo en alimento y agua con variaciones en fuentes de carbono en sistemas Biofloc y análisis sobre el rendimiento de crecimiento (García-Ríos *et al.*, 2019). Además, se evidencia que este nodo está conformado principalmente por Universidades de Brasil, a su vez tiene interacción cercana con otras como las universidades de Texas y Shangai e interacción con el clúster conformado principalmente por universidades de México.

Colaboración Internacional

Determinar las colaboraciones entre países o el origen en la generación de nuevos conocimientos, soportan el enfoque de la investigación y sus posibles potenciales

investigativos. En este indicador bibliométrico se contabilizó un total de 33 países participantes.

En la Figura 4a es posible visualizar la frecuencia de participación de los países, siendo Brasil el país más representativo con el 30 % de la participación en el periodo de tiempo analizado, trabajando en conjunto con países como China, Estados Unidos y México. En la Figura 4b se destacan cuatro clústeres de relación de las coautorías, siendo Brasil nuevamente el más representativo en relación estrecha sobre el tema.

En la Figura 4b los nodos rojos representan relaciones dinámicas sobre el país con mayor participación y desarrollo investigativo respecto al tema; los nodos azules evidencian una relación muy fuerte de cooperación y citación entre autores y los nodos verdes son participaciones de países que tienen influencia en el desarrollo de la tecnología Biofloc con algunas variaciones.

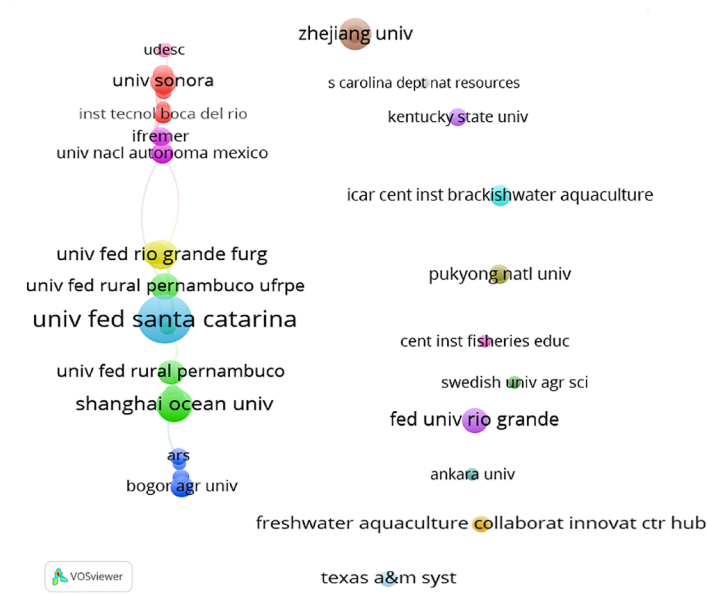
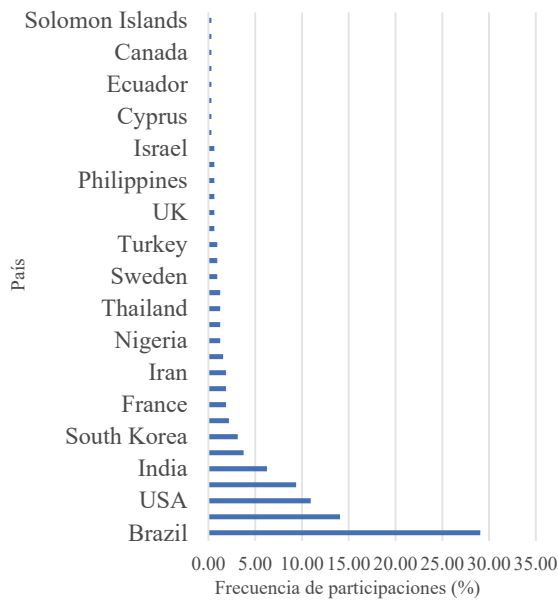
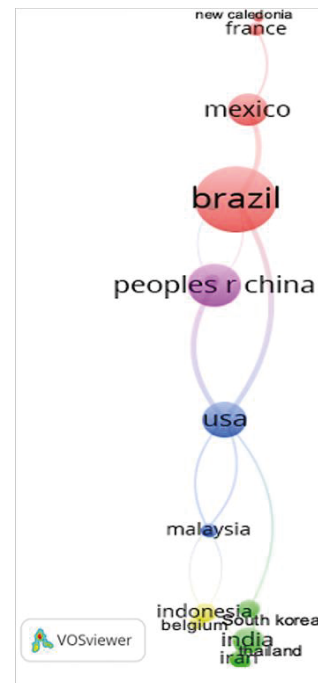


Figura 3. Nodos de relación entre instituciones.

Fuente: elaborada por los autores



(a)



(b)

Figura 4. Participación de países. (a) Frecuencia de participación por país. (b) Nodos identificados en la colaboración entre países.

Fuente: elaborada por los autores

Revistas Científicas

En los documentos analizados se encontró un total de 16 autores con índice H superior a 5. La Figura 5a muestra los autores y su correspondiente índice H, evaluando el impacto en el acumulado, productividad y

relevancia de las publicaciones, analizando la correlación entre la producción científica generada y la cantidad de citas recibidas de su producción académica respecto al tema en el periodo de estudio. Se destaca el trabajo de Wasielesky con un total de 509 citaciones (Wasielesky *et al.*, 2006).

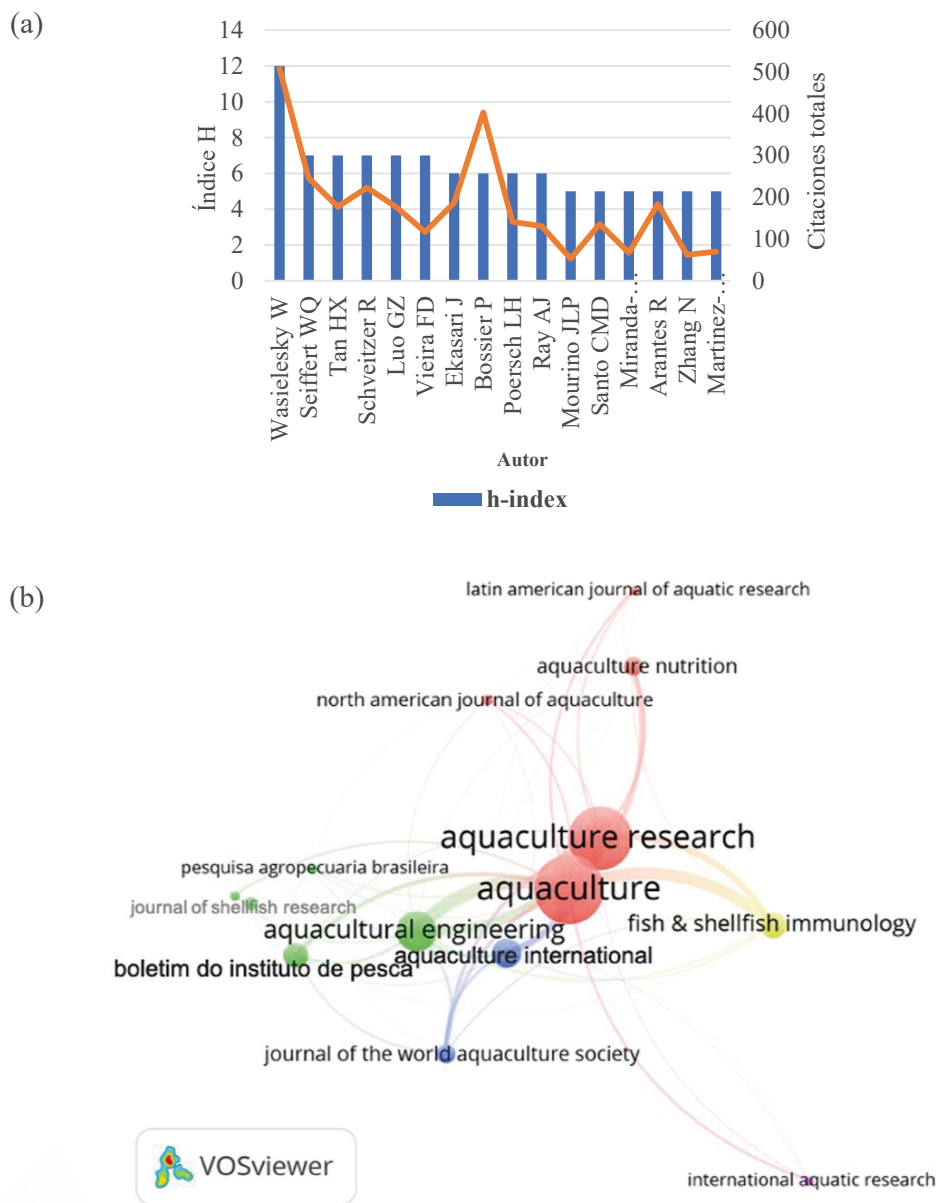


Figura 5. Principales autores. (a) Índice H. (b) Nodos de interacción de revistas.

Fuente: elaborada por los autores

A su vez, se analizaron las revistas con mayor publicación sobre el tema de tecnología Biofloc, se lograron obtener las principales áreas de investigación resaltando la mayor cantidad de publicaciones en la revista: Aquaculture. Se evidencian interacciones estrechas de la revista Aquaculture con Fish shellfish immunology y Aquacultural engineering. Dicho análisis se realizó por fuentes con mínimo tres documentos por revista encontrando que 14 de estas reúnen el umbral Figura 5b.

Análisis Sistemático

Como primera característica analizada en los documentos se tuvo en cuenta la especie sobre la cual se aplicó la tecnología y los resultados representativos sobre la misma. De los datos obtenidos es posible inferir que el 59,3 % de los artículos se enfocan en la implementación y beneficios de la tecnología Biofloc sobre la especie camarón y con el 18,99 % de frecuencia sobre la especie tilapia. La especie más representativa de este análisis con relación al número de documentos asociados es el camarón, con cerca de 153 referencias.

Los mejores tiempos de producción estuvieron en los rangos de 41-50 días (12,4 %) (Adineh *et al.*, 2019; Promthale *et al.*, 2019; Tesser *et al.*, 2019; Romano *et al.*, 2018; Pacheco-Vega *et al.*, 2018), 21-30 días (11,24 %) (Pujiastuti & Suwartha, 2017; Esparza-Leal *et al.*, 2017; Moreno-Arias *et al.*, 2017; Rajkumar *et al.* 2016) y 51-60 días (9,68 %) (da Silva *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2019; Ahmad *et al.*, 2019; Furtado *et al.*, 2014). La relación C: N no fue reportada en el 92,6 % de los trabajos. Sin embargo, el 3,48 % reportaron relaciones de 15:1 (Mirzakhani *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019; Gou *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2019) y el 1,16 % de 20:1 (Reinoso *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2017).

Adicionalmente se encontraron documentos que describen los beneficios de la implementación de la tecnología Biofloc

en respuesta a una necesidad urgente para preservar el medio ambiente; realizando actividades de forma sostenible (Wang, 2019).

Categorías

Del mismo modo se realizó un análisis de las principales categorías en las cuales se pueden clasificar la producción científica analizada (Figura 6). Se identificaron principalmente cuatro categorías sobre las que se fundamenta la producción científica, siendo estas: (i) "productividad" asociada al desarrollo de policultivos y densidad poblacional de diferentes especies; (ii) "rendimiento" asociado al seguimiento del crecimiento de las especies y optimización en procesos de conversión proteica; (iii) "calidad de agua" como el seguimiento a parámetros fisicoquímicos óptimos para el desarrollo de las especies" y finalmente (iv) "características microbiológicas y fisiológicas del cultivo" en las cuales se tienen en cuenta factores de supervivencia y salud en general de las especies cultivadas.

Adicionalmente se encuentran dos categorías que son: (v) "teoría Biofloc" donde se abordan las generalidades de la tecnología en los cultivos y la categoría (vi) "otros" en la que se clasificaron documentos que abarcan temas asociados a especificidades de especies cultivadas en tecnología Biofloc, pero sin efectos significativos sobre la tecnología misma.

En la Figura 6 se evidencia que la investigación científica en la categoría de "rendimiento" aporta el 44,18 % en análisis de crecimiento como en procesos de conversión proteica, seguido por la categoría "productividad" con el 26,35 % y finalmente la categoría de "calidad de agua" con un aporte del 15,5 % del total de los documentos analizados. Los demás porcentajes están representados por las categorías "características microbiológicas y fisiológicas del cultivo" (8,91 %), "otros" (3,87 %) y "teoría Biofloc" (1,16 %).

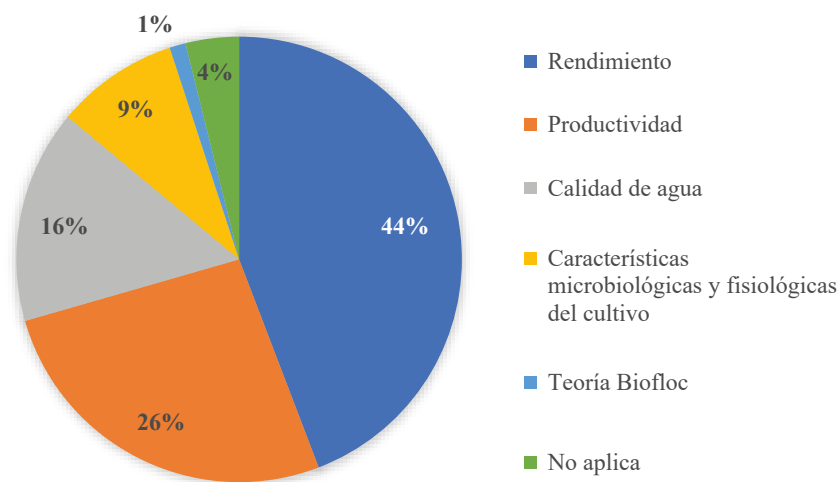


Figura 6. Categorías de clasificación Biofloc.

Fuente: elaborada por los autores

Principales Desafíos para el Avance de Aplicación de la Tecnología Biofloc

La tecnología Biofloc se considera una herramienta para el crecimiento y desarrollo de la acuicultura sostenible intensiva a nivel mundial, en respuesta a la creciente demanda de productos piscícolas (Hamilton, 2018).

Dentro de los principales desafíos para el avance de la tecnología Biofloc se pueden identificar los siguientes:

- En los documentos que arrojó la búsqueda con la ecuación utilizada, se evidencia la falta de estudios con enfoque en el análisis económico del proceso de implementación, producción y/o costos operativos.
- Las especies objeto de cultivo bajo esta tecnología a hoy están muy limitadas, sin embargo, se evidencia gran producción en especies como camarón y tilapia. En el caso específico de Colombia para ampliar el conocimiento

de los beneficios que la tecnología Biofloc ofrece, es necesario revisar el comportamiento en especies nativas colombianas como el bocachico que se encuentra catalogada como la principal especie de la pesquería continental colombiana y la cuarta especie más cultivada en el país en piscicultura extensiva o semi intensiva (Atencio, 2013). Igualmente se debe fortalecer este análisis en otras especies de alto consumo como son la trucha, cachama y bagre.

- No se aprecian en registros documentales analizados, evidencias donde se enuncia zonas geográficas con características determinadas que favorezcan la implementación de cultivos intensivos. Tampoco se describen condiciones ambientales favorables para los procesos de optimización en producción piscícola. Tan solo se puede evidenciar análisis y afectación de parámetros por presencia de gradientes de temperatura (Hostins, 2015).

Discusión

Estudios de autores como Wasielesky *et al.*, (2006) están especializados en el estudio de camarón bajo la implementación de tecnología Biofloc y su modelo biológico. Documentos como "Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*" (Wasielesky *et al.*, 2006) ha sido su referencia más significativa con mínimo 50 citas. El camarón es el cultivo más estudiado y representativo en las publicaciones sobre Biofloc debido a que representa el 80 % del grupo más representativo en explotación (FAO, 2021).

La segunda especie cultivada con más documentos asociados es la tilapia en el periodo de tiempo del 2014 al 2019, donde los estudios se enfocan principalmente en los factores de rendimiento de crecimiento (da Silva, 2020). Menaga *et al.*, (2019) ha estudiado estrategias de alimentación de tilapia, analizando variaciones con diferentes fuentes de carbono; encontró una mayor ganancia de peso, tasa de crecimiento específico, supervivencia y una menor tasa de conversión alimenticia en el Tratamiento 1 desarrollado dentro de los sistemas de cultivo (*in situ*), y empleando agua de lavado de destilería como fuente de carbono para mantener la relación C/N de 10:1 para el desarrollo de flóculos.

Biofloc permite mantener una calidad de agua óptima en el sistema de acuicultura manipulando las proporciones de carbono y nitrógeno en el sistema. Esta relación óptima favorece el crecimiento de bacterias heterótrofas que contribuyen a mantener una buena calidad del agua y al mismo tiempo proporcionan fuentes de alimento natural para los peces o crustáceos de cultivo (Caipang, 2019).

En la revisión documental se evidencia una destacada tendencia en la categoría de "rendimiento" ya que se relaciona estrechamente con la cantidad de alimento a suministrar y la conversión que se puede lograr para obtener las condiciones óptimas de cultivo como son los parámetros de tasa de crecimiento específico. Esta categoría está asociada linealmente con la calidad del producto lo que la hace un punto focal como propuesta de valor para consumo local y regional (Fleckenstein, 2018).

Los avances de estudio en esta categoría se llevaron a cabo principalmente entre el año 2014 y 2019. Los resultados principales de la revisión documental es que el sistema Biofloc tiene el potencial de mejorar el rendimiento del crecimiento, la respuesta inmune y la resistencia a enfermedades en las especies de cultivo como camarón blanco del Pacífico a pesar de la dieta suplementada con bajo contenido de proteínas (Panigrahi, 2019).

La segunda categoría con más documentos relacionados es "productividad", asociada al aprovechamiento de espacio e incremento de la densidad poblacional, supervivencia y tamaño final. Esta categoría se alinea directamente con la rentabilidad del producto lo que la convierte en un elemento diferenciador para ofrecer alimento de primera calidad al mejor precio para el productor.

El sistema Biofloc promueve el aumento de la densidad de población utilizando áreas más pequeñas (Costa, 2018). Adicionalmente los resultados demuestran la viabilidad de incrementar el rendimiento hasta un 30 % en policultivos en un sistema de Biofloc, con un aumento en la sostenibilidad de las crías que se generan (Adineh, 2019).

Conclusiones

Se evidenció un crecimiento gradual en los procesos de investigación respecto a la implementación de la tecnología Biofloc en los últimos años; los principales estudios están relacionados con el rendimiento en cuanto a crecimiento y optimización de los procesos de conversión proteica en los cultivos analizados bien sean individuales o en policultivo. Se identificó gran producción científica en países como Brasil, China, Estados Unidos y México al igual que instituciones conocidas como Universidad Federal Santa Catarina, Universidad Federal Rio Grande FURG, Universidad Federal Rural Pernambuco, Shanghai Ocean University, partiendo de las relaciones que se generan entre coautores en la ejecución de trabajos e investigaciones en conjunto para la generación de nuevo conocimiento fundamentado en la propiedades y técnicas de implementación de la tecnología Biofloc, contando con el apoyo de revistas especializadas en el tema como Aquaculture Research. En el análisis de

las publicaciones fue posible identificar los métodos de aplicación de la tecnología Biofloc en la producción piscícola y sus efectos en los cultivos aplicados, destacando beneficios como el mejoramiento de la densidad poblacional en cultivos específicos o policultivos, incremento del rendimiento de crecimiento y mayor conversión proteica en relación específica de carbono consumido y nitrógeno generado, favorecimiento de la calidad de agua proporcionando de este modo una alternativa de acuicultura sostenible intensiva con cero recambio de agua generando uso eficiente de recurso hídrico y finalmente aportando al fortalecimiento de las capacidades inmunológicas de las especies optimizando la estadística de supervivencia frente a posibles patógenos. Dentro de los principales desafíos para el avance tecnológico de aplicación de la tecnología Biofloc en el marco de la piscicultura sostenible se puede evidenciar que no existen referentes que permitan hacer un análisis económico comparativo entre cultivos piscícolas intensivos, la tecnología Biofloc y la piscicultura tradicional o extensiva en tierra.

Referencias

- Adineh, H., Naderi, M., Hamidi, M. K., & Harsij, M. (2019). Biofloc technology improves growth, innate immune responses, oxidative status, and resistance to acute stress in common carp (*Cyprinus carpio*) under high stocking density. *Fish & shellfish immunology*, *95*, 440-448.
- Ahmad, I., Leya, T., Saharan, N., Asanaru Majeedkutty, B. R., Rathore, G., Gora, A. H., ... & Verma, A. K. (2019). Carbon sources affect water quality and haemato-biochemical responses of *Labeo rohita* in zero-water exchange biofloc systems. *Aquaculture research*, *50*(10), 2879-2887.
- Archambault, É., Campbell, D., Gingras, Y., & Larivière, V. (2009). Comparing bibliometric statistics obtained from the Web of Science and Scopus. *Journal of the American society for information science and technology*, *60*(7), 1320-1326.
- Åström, F., Danell, R., Larsen, B., Schneider, J. W., & Schlemmer, B. (2009). Celebrating Scholarly Communication Studies Communication Studies.
- Atencio, V., Kerguelén, E., Naar, E., & Petro, R. (2013). Desempeño reproductivo del bocachico *Prochilodus magdalenae* inducido dos veces en un mismo año. *Revista MVZ Córdoba*, *18*(1), 3304-3310.

- Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264(1-4), 140-147.
- Brú-Cordero, S. B., Buelvas, V. M., Ayazo-Genes, J. E., Atencio-García, V. J., & Pardo-Carrasco, S. C. (2017). Bicultivo en biofloc de cachama blanca-*Piaractus brachypomus*-y tilapia nilótica-*Oreochromis niloticus*-alimentadas con dietas de origen vegetal. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 64(1), 44-60.
- Caipang, C. M. (2019). Backyard farming of tilapia using a biofloc-based culture system. *The Palawan Scientis*, 1-16.
- Cardona, E., Saulnier, D., Lorgeoux, B., Chim, L., & Gueguen, Y. (2015). Rearing effect of biofloc on antioxidant and antimicrobial transcriptional response in *Litopenaeus stylirostris* shrimp facing an experimental sub-lethal hydrogen peroxide stress. *Fish & Shellfish Immunology*, 45(2), 933-939.
- Cervantes, O. (2018). *State of the art beach Ecosystem Management from the tree od science Platform*. Mexico.
- Collazos-Lasso, L. F., & Arias-Castellanos, J. A. (2015). Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia*, 19(1), 77-86.
- Costa, C., Foes, G., Wasielesky, W., & Poersch, L. (2018). Different densities in whiteleg shrimp culture using bioflocs and well water in subtropical climate. *B. Inst. Pesca*, e324-e324.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356, 351-356.
- da Silva, M. A., de Alvarenga, É. R., Costa, F. B. D., Turra, E. M., Alves, G. F. D. O., Manduca, L. G., ... & Teixeira, E. D. A. (2020). Feeding management strategies to optimize the use of suspended feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in bioflocs. *Aquaculture Research*, 51(2), 605-615.
- Esparza-Leal, H. M., López-Álvarez, E. S., Ponce-Palafox, J. T., Melendrez-Soto, J. A., Medina-Astorga, M. A., Luna-González, A., ... & Rodríguez-Quiroz, G. (2017). Effect of light limitation on the water quality, bacterial counts and performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared with biofloc at low salinity. *Aquaculture Research*, 48(8), 4371-4379.
- FAO. (2021, 03 19). *Información y Análisis sobre el Comercio Mundial de Pescado*. Retrieved from Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/in-action/globefish/marketreports/resource-detail/es/c/1241043/>
- Fleckenstein, L. J., Tierney, T. W., & Ray, A. J. (2018). Comparing biofloc, clear-water, and hybrid recirculating nursery systems (Part II): Tilapia (*Oreochromis niloticus*) production and water quality dynamics. *Aquacultural Engineering*, 82, 80-85.
- Furtado, P. S., Gaona, C. A., Poersch, L. H., & Wasielesky, W. (2014). Application of different doses of calcium hydroxide in the farming shrimp *Litopenaeus vannamei* with the biofloc technology (BFT). *Aquaculture international*, 22(3), 1009-1023.

- García, C., & Alvarez, L. (2018). Implementación y caracterización de un sistema biofloc (bft) en condiciones climáticas de Ocaña, Norte de Santander. *Revista colombiana de zootecnia*, 4(7), 11-15.
- García-Ríos, L., Miranda-Baeza, A., Coelho-Emerenciano, M. G., Huerta-Rábago, J. A., & Osuna-Amarillas, P. (2019). Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. *Aquaculture*, 502, 26-31.
- Gómez, C. F. R. C., Gutiérrez, C. V. R., & Pinzón, C. E. R. C. (2005). Indicadores bibliométricos: origen, aplicación, contradicción y nuevas propuestas. *MedUNAB*, 8(1), 29-36.
- González, M. J. P., Guzmán, M. F., & Chaviano, O. G. (2015). Criterios, clasificaciones y tendencias de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la ciencia. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)*, 26(3), 290-309.
- Gou, J., Hong, C. U., Deng, M., Chen, J., Hou, J., Li, D., & He, X. (2019). Effect of carbon to nitrogen ratio on water quality and community structure evolution in suspended growth bioreactors through biofloc technology. *Water*, 11(8), 1640.
- Guzman, M. A. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua*. Honduras.
- Hernández, L., Londoño, J.I., Hernández, K.A., Torres, L.C. (2019). The biofloc systems: an efficient strategy in the aquaculture production. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(1), 70-99.
- Hostins, B., Braga, A., Lopes, D. L., Wasielesky, W., & Poersch, L. H. (2015). Effect of temperature on nursery and compensatory growth of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* reared in a super-intensive biofloc system. *Aquacultural Engineering*, 66, 62-67.
- Kubitza. (2011). *Cultivo de tilapias en sistema de "Bioflocos" sin renovación de agua*.
- Kumar, S., Shyne Anand, P. S., De, D., Ghoshal, T. K., Alavandi, S. V., & Vijayan, K. K. (2019). Integration of substrate in biofloc based system: Effects on growth performance, water quality and immune responses in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* culture. *Aquaculture Research*, 50(10), 2986-2999.
- Legarda, E. C., Barcelos, S. S., Redig, J. C., Ramírez, N. C. B., Guimarães, A. M., Santo, C. M. D. E., ... & Vieira, F. D. N. (2018). Effects of stocking density and artificial substrates on yield and water quality in a biofloc shrimp nursery culture. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47.
- Li, J., Li, J., Li, W., Sun, Y., Liu, X., Liu, M., & Cheng, Y. (2019). Juvenile *Procambarus clarkii* farmed using biofloc technology or commercial feed in zero-water exchange indoor tanks: A comparison of growth performance, enzyme activity and proximate composition. *Aquaculture Research*, 50(7), 1834-1843.
- Mirzakhani, N., Ebrahimi, E., Jalali, S. A. H., & Ekasari, J. (2019). Growth performance, intestinal morphology and nonspecific immunity response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured in biofloc systems with different carbon sources and input C: N ratios. *Aquaculture*, 512, 734235.

- Menaga, M., Felix, S., Charulatha, M., Gopalakannan, A., & Panigrahi, A. (2019). Effect of in-situ and ex-situ biofloc on immune response of Genetically Improved Farmed Tilapia. *Fish & Shellfish Immunology*, 92, 698-705.
- Moreno-Arias, A., López-Elías, J. A., Miranda-Baeza, A., Rivas-Vega, M. E., Martínez-Córdova, L. R., & Ramírez-Suárez, J. C. (2017). Replacement of fishmeal by vegetable meal mix in the diets of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity biofloc system: effect on digestive enzymatic activity. *Aquaculture Nutrition*, 23(2), 236-245.
- Ogello, E., Musa, S., Mulanda, C., Abwao, J., & Mbonge, J. (2014). An Appraisal of the Feasibility of Tilapia Production in Ponds Using Biofloc Technology: A review. *International Journal of Aquatic Science*, 21-39.
- Pacheco-Vega, J. M., Cadena-Roa, M. A., Leyva-Flores, J. A., Zavala-Leal, O. I., Pérez-Bravo, E., & Ruiz-Velazco, J. M. (2018). Effect of isolated bacteria and microalgae on the biofloc characteristics in the Pacific white shrimp culture. *Aquaculture Reports*, 11, 24-30.
- Panigrahi, A., Sundaram, M., Saranya, C., Kumar, R. S., Dayal, J. S., Saraswathy, R., ... & Gopal, C. (2019). Influence of differential protein levels of feed on production performance and immune response of pacific white leg shrimp in a biofloc-based system. *Aquaculture*, 503, 118-127.
- Promthale, P., Pongtippatee, P., Withyachumnarnkul, B., & Wongprasert, K. (2019). Bioflocs substituted fishmeal feed stimulates immune response and protects shrimp from *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Fish & shellfish immunology*, 93, 1067-1075.
- Pujiastuti, D. R., & Suwartha, N. (2017). Enhancing removal efficiency of ammonia and nitrate in shrimp farm wastewater using biofloc technology and effective microorganism S4 (EM4). *International Journal of Technology*, 6, 1021-1030.
- Rajkumar, M., Pandey, P. K., Aravind, R., Vennila, A., Bharti, V., & Purushothaman, C. S. (2016). Effect of different biofloc systems on water quality, biofloc composition and growth performance in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture research*, 47(11), 3432-3444.
- Reinoso, S., Muñoz, D., Cedeño, R., Tirado, J. O., Bangeppagari, M., & Mulla, S. I. (2019). Adaptation of " Biofloc " aquatic system for polyculture with tilapia (*Oreochromis* sp.) and river prawn (*Macrobrachium* sp.). *Journal of Microbiology, Biotechnology & Food Sciences*, 8(5).
- Romano, N., Dauda, A. B., Ikhsan, N., Karim, M., & Kamarudin, M. S. (2018). Fermenting rice bran as a carbon source for biofloc technology improved the water quality, growth, feeding efficiencies, and biochemical composition of African catfish *Clarias gariepinus* juveniles. *Aquaculture research*, 49(12), 3691-3701.
- Silva, U. L., Falcon, D. R., PESSÔA, M. N. D. C., & Correia, E. D. S. (2017). Carbon sources and C: N ratios on water quality for Nile tilapia farming in biofloc system. *Revista Caatinga*, 30, 1017-1027.
- Tesser, M. B., Cardozo, A. P., Camaño, H. N., & Wasielesky, W. (2019). Replacement of fishmeal and fish oil with vegetable meal and oil in feedstuffs used in the

growing phase of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, in biofloc systems. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(2), 703-710.

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84(2), 523-538.

Wang, S., Cui, X., Xu, R., Gao, M., & Sui, L. (2019). Effect of carbon and nitrogen ratio control on *Artemia* growth, water quality, biofloc microbial diversity under high salinity and zero-water exchange culture condition. *Journal of Oceanology and Limnology*, 37(5), 1768-1776.

Wasielesky Jr, W., Atwood, H., Stokes, A., & Browdy, C. L. (2006). Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258(1-4), 396-403.

Yu, Z., Li, L., Zhu, R., Li, M., & Wu, L. F. (2020). Effects of bioflocs with different C/N ratios on growth, immunological parameters, antioxidants and culture water quality in *Opsariichthys kaopingensis* Dybowski. *Aquaculture Research*, 51(2), 805-815.