



Epistemus (Sonora)

ISSN: 2007-8196

Universidad de Sonora, División de Ingeniería

Ochoa-Hernández, María Elena; Villanueva-Guitérrez,
Emmanuel; Martínez-Córdova, Luis Rafael; Calderón, Kadiya
Tecnología de Bioflóculos: Un camino hacia la acuicultura sustentable
Epistemus (Sonora), vol. 17, núm. 34, 2023, Enero-Junio, pp. 123-130
Universidad de Sonora, División de Ingeniería

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.282>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=726276433015>

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



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Tecnología de Bioflóculos: Un camino hacia la acuicultura sustentable

Biofloc Technology: A Way for Sustainable Aquaculture

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

María Elena Ochoa-Hernández ¹
 Emmanuel Villanueva-Guitérrez ²
 Luis Rafael Martínez-Córdova ³
 Kadiya Calderón ⁴

Recibido: 06 / 12 / 2022

Aceptado: 09 / 06 / 2023

Publicado: 16 / 08 / 2023

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.282>

Autor de Correspondencia:
 Dra. Kadiya Calderón
 Correo: kadiya.calderon@unison.mx

Resumen

La acuicultura se ha convertido en el sector alimentario con la más alta tasa de crecimientos en los últimos años. Sin embargo, esta actividad tiene un importante impacto ambiental principalmente por el uso de grandes cantidades de agua y la alta cantidad de efluentes contaminados. La tecnología de bioflóculos (BFT) ofrece una alternativa sustentable que, a través de la actividad metabólica de una comunidad de microorganismos, puede ayudar a mantener la calidad del agua, permite ser utilizada como alimento por los organismos de cultivo y beneficia el sistema inmune de los organismos acuáticos. En este artículo se presenta a la BFT como una potencial herramienta que permita obtener alimentos de calidad y dirija la acuicultura hacia un camino sustentable.

Palabras clave: bioflóculos; Acuicultura; Sustentable.

Abstract

Aquaculture has become the food producer sector with the highest growth rate in the last years. Nevertheless, this activity has an important environmental impact, mainly due to the use of great quantities of water and polluted effluents. Biofloc technology (BFT) offers a sustainable alternative that through the metabolic activity of a microbial community can help to maintain water quality and be used as food by aquaculture organisms, offering benefits to the immune system of the aquatic organisms. This article presents the BFT as a potential tool to obtain quality food that can lead aquaculture into a sustainable path.

Keywords: bioflocs; Aquaculture; Sustainable.

¹ M en C (Maestra en Biociencias), Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la UNISON, Hermosillo Sonora, México, aneleochoa@gmail.com, Orcid: 0000-0001-5294-8213.

² Doctorado (Doctorado en Biociencias), Comité de Sanidad Acuicola del Estado de Sonora, A.C. (COSAES), Hermosillo, Sonora, México, emmanuel.villanuevagz@gmail.com, 0000-0001-8347-8680

³ Dr. (Doctor en Ciencias), Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la UNISON, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, luis.martinez@unison.mx, Orcid. 0000-0002-3684-3398.

⁴ Dr. (Doctor en Ciencias), Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la UNISON, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, kadiya.calderon@unison.mx, Orcid. 0000-0003-3502-6449.



INTRODUCCIÓN

Al cultivo de animales y plantas acuáticas se le conoce como acuicultura [1]. Esta actividad ha tenido un importante desarrollo en los últimos años, convirtiéndose en el sector alimentario con la mayor tasa de crecimiento en la última década [2]. Especialmente en países en desarrollo, la acuicultura contribuye a la satisfacción de la creciente demanda alimentaria, tiene un relevante impacto económico y coadyuva a la generación de empleos [3].

Las proyecciones estiman que para el año 2050, la producción acuícola mundial alcance las 140 millones de toneladas, el doble de la producción mundial del año 2010 [4]. Sin embargo, aunado al crecimiento de la acuicultura, surgen algunos problemas ambientales, principalmente por la contaminación del agua [5].

En los últimos años, se ha reportado que los efluentes provenientes de la industria acuícola suelen tener altas concentraciones de nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos, materia orgánica y alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); además, de agentes patógenos y residuos provenientes de fármacos [6].

Los efluentes acuícolas sin tratamiento alguno, que son dispuestos en cuerpos de agua pueden causar graves problemas ambientales como la eutrofización [7]. No obstante, la mala calidad del agua afecta también a los organismos de cultivo provocando condiciones de estrés que los vuelven más susceptibles a contraer infecciones y otras enfermedades [8].

Debido al rápido crecimiento de la producción acuícola y a los efectos negativos ambientales de los cultivos intensivos, es necesario emprender la búsqueda de herramientas que permitan técnicas de cultivo sustentables; es decir, se requiere buscar estrategias para lograr una acuicultura sustentable.



En 1987, la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo definió el concepto de desarrollo sostenible como “aquel que utiliza el ambiente y sus recursos para asegurar las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de asegurar las necesidades de las futuras generaciones”. Entonces, es posible decir que las estrategias sostenibles deben estar enfocadas a un correcto uso de los recursos disponibles.

En este sentido, la tecnología de bioflóculos (BFT, por sus siglas en inglés) representa una alternativa sustentable para el cultivo de organismos acuáticos. Dicha tecnología es un sistema de cultivo en el que se promueven comunidades microbianas que llevan a cabo el reciclaje de nutrientes, el cual se ilustra en la Figura 1.



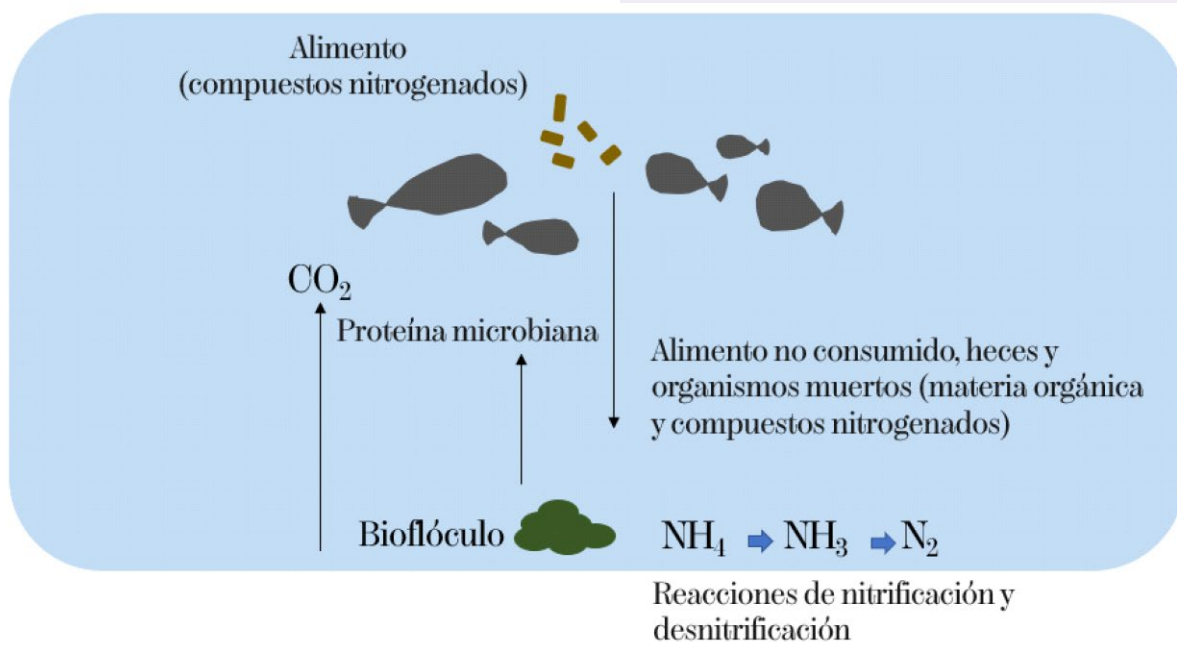


Figura 1. Reciclaje de nutrientes en Sistema de Bioflóculo (Adaptado de Kamboj *et al.* 2021).



Este sistema fue desarrollado para obtener una tecnología de cultivo de bajo costo, sin necesidad de recambios de agua [9,10,11,12]. Los bioflóculos están conformados por una amplia variedad de microorganismos, los cuales pueden incluir: microalgas, protozoarios, anélidos, nematodos, bacterias, rotíferos y copépodos; estos en conjunto forman una comunidad microbiana que se adhieren a una matriz orgánica y están presentes como flóculos flotantes en la columna del agua [13].

El bioflóculo resulta de las secreciones bacterianas y de la mezcla entre microorganismos filamentosos y materia orgánica particulada y tiene el potencial de mantener la calidad del agua a través del reciclaje de nutrientes. Además, posee un gran valor nutricional ya que funciona como una fuente alternativa de proteína y beneficia al sistema inmune de los organismos acuáticos cultivados [14].

Para promover la formación de bioflóculos a través de la proliferación microbiana, se debe preparar el agua que se torna visiblemente de color marrón y adquiere una textura grumosa. Previo a la siembra de los organismos de cultivo, el agua debe ser acondicionada por un período de aproximadamente 15 días. Conforme se da la engorda de los organismos de cultivo, se deben de añadir sustancias que contengan nutrientes adecuados, que sean fuente de carbono y nutrientes inorgánicos, como melaza y fertilizantes, además de mantener condiciones óptimas para lograr crear una diversa comunidad de microorganismos. Así, esta tecnología resulta ser una forma de acuicultura sustentable aportando numerosas ventajas para los organismos de cultivo.

Contribución de los Bioflóculos a la Inmunidad de los Organismos Acuáticos

A la comunidad microbiana que vive en simbiosis con su respectivo huésped se le conoce como microbiota. Los microorganismos que conforman la microbiota pueden interactuar con otros microorganismos ajenos en su propio ambiente, ya sean patógenos o benéficos; esto resulta en un incremento en la habilidad de los microorganismos benéficos para eliminar microorganismos patógenos [15].

Esto puede lograrse a través de distintos mecanismos, como lo es la liberación de sustancias bactericidas como exoenzimas que generen ambientes inhóspitos para las bacterias patógenas, por competencia por espacio y nutrientes, o inclusive mejorando la respuesta inmune y el estado de estrés oxidativo en los organismos de cultivo [16,45].

Como se mencionó anteriormente, los bioflóculos están conformados por una gran comunidad de microorganismos.



ismos que, en conjunto con sus componentes celulares y metabolitos, pueden actuar como inmunoestimulantes y proveer protección contra microorganismos patógenos [15]. La identidad y actividad de los microorganismos presentes en los bioflóculos es de gran importancia, debido a que los organismos de cultivo están en constante contacto con su medio ambiente [19].

Este efecto inmunoestimulante ha sido investigado en diferentes organismos acuáticos de cultivo. En el caso del camarón, se considera que el efecto inmunoestimulante de la BFT contribuye a mantener altos niveles de supervivencia bajo infecciones virales y bacterianas [20]. Algunas de las bacterias presentes en los bioflóculos aportan lipopolisacáridos y peptidoglicanos, ayudando a activar la inmunidad innata de los peces [16].

El mantenimiento de la salud de los organismos acuáticos no sólo es una cuestión económica importante, sino que las infecciones suelen conducir al uso de medicamentos antimicrobianos o antibióticos. Los agentes antimicrobianos son aquellos que pueden inhibir el desarrollo microbiano o bien, eliminar los microorganismos patógenos que provocan la infección; estos pueden ser aplicados por metaflaxis, que consiste en medicar a un grupo de organismos, incluyendo a los enfermos y a los expuestos que no presentan la enfermedad o puede ser administrado como un tratamiento profiláctico, que resulta preventivo [21].

Independiente de la manera en que el tratamiento sea aplicado, restos de antibióticos quedan en las heces de los organismos de cultivo y en el alimento no consumido; estos desechos forman parte del agua residual de las granjas acuícolas, que al ser descartadas en suelos y cuerpos de agua tendrán un importante impacto ambiental y causarán problemas de resistencia bacteriana a los antibióticos [22].

Los restos de antibióticos alteran el microbioma natural de los ecosistemas acuáticos, tienen consecuencias en la regulación y soporte de estos, alterando el ciclo de nutrientes, el secuestro de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad. Además, estos entornos se convierten en reservorios de genes de resistencia a los antimicrobianos que pueden entrar en la cadena alimenticia afectando a otros animales y a los humanos [23, 24].

Por otra parte, se ha reportado que la BFT juega un papel importante en proveer compuestos bioactivos como carotenoides y vitaminas solubles que pueden estimular la respuesta inmune de peces cultivados [25]. El efecto inmunoestimulante es una indudable ventaja de esta tecnología; principalmente si se considera que las condiciones ambientales a las que los organismos de cultivo se ven sometidas suelen ser muy estresantes; consecuentemente, promoviendo infecciones y enfermedades que se diseminan rápidamente en los sistemas de cultivo y causan severas pérdidas económicas [26,27].



Mantenimiento de la Calidad del Agua

La acuicultura utiliza grandes cantidades de agua en el cultivo de diversas especies acuáticas; así mismo, una gran cantidad de aguas residuales son generadas por este sector, conteniendo altas concentraciones de nutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo [28].

Estos nutrientes provienen del alimento no consumido, desechos y animales muertos en los sistemas de cultivo, y cuando se acumulan en concentraciones muy altas, causan procesos de eutrofización (agotamiento de oxígeno disuelto) que impactan en la supervivencia de los organismos acuáticos [29].

Siendo el principal propósito de la BFT el mantenimiento de la calidad del agua, los microorganismos presentes en los bioflóculos convierten el nitrógeno inorgánico (el cual es tóxico y tiene un impacto negativo en el medio ambiente) en biomasa microbiana a través de la adición de



fuentes de carbono económicas (para mantener una adecuada tasa carbono-nitrógeno); por su parte, la biomasa es utilizada como una fuente de alimento para los organismos del sistema de cultivo [30].

En otras palabras, en el sistema de BFT se lleva a cabo el reciclaje de nutrientes, donde los microorganismos presentes en el sistema toman la materia orgánica y nutrientes disponibles, heces de los peces. Por ejemplo, para sintetizar biomasa bacteriana (bioflóculo), se provee un alimento complementario alto en nutrientes para los organismos de cultivo lo que incrementa la calidad del agua, y por ende, se reduce la necesidad de recambios de agua [31,32].

En una investigación realizada por Rodrigues de Lima y col. (2018) se implementó BFT para cultivo de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), se encontró una reducción del volumen de agua utilizada 11.8 veces menor en comparación a un sistema de cultivo convencional. Esto es realmente importante si se considera que la cantidad de agua utilizada en estanques de cultivo es de aproximadamente 45 m³ por kg producido [34].

Uno de los principales procesos por los que se lleva a cabo la remoción de nutrientes en los sistemas BFT son la nitrificación y la desnitrificación. La nitrificación es el proceso biológico en el que las formas tóxicas del nitrógeno

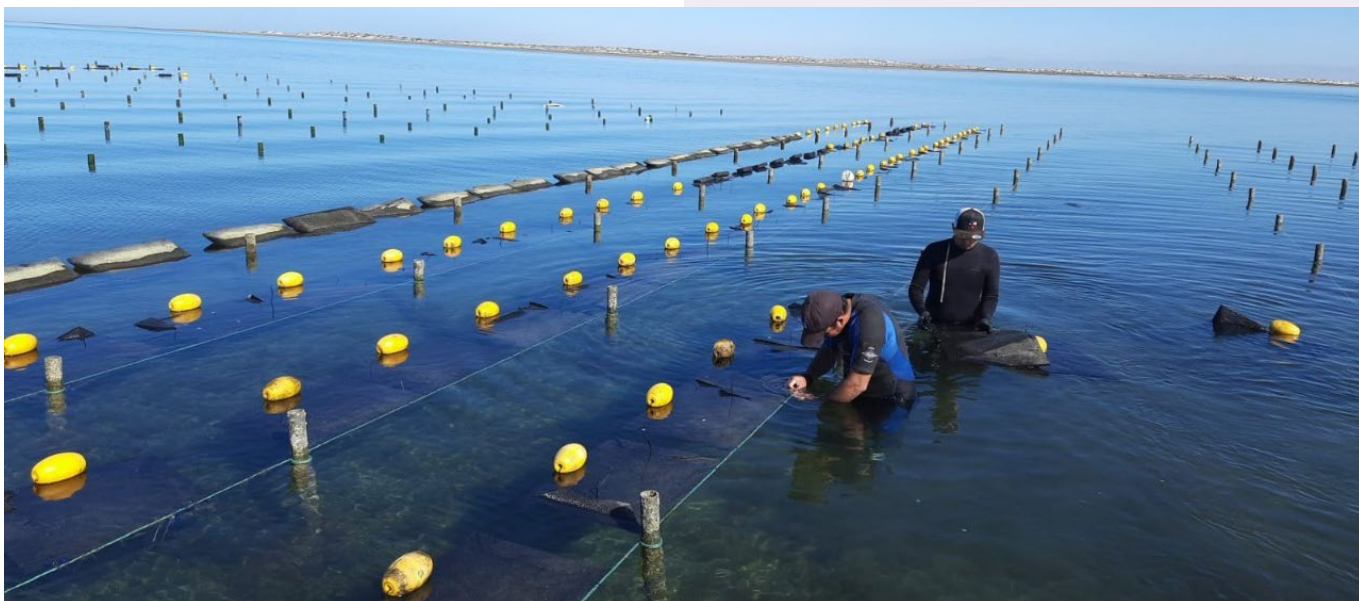
(como los nitritos y el nitrógeno amoniacal) son transformadas por medio de la acción microbiana a nitratos (compuestos de menor toxicidad), y posteriormente, los nitratos son reducidos a nitrógeno gaseoso (compuesto no tóxico) [38],[39].

Estos procesos reducen significativamente las concentraciones de contaminantes en el agua, mejorando la calidad de esta y por consiguiente reduciendo el impacto ambiental y beneficiando también a los organismos de cultivo; ya que la mala calidad del agua impacta directamente en su salud, causando estrés e incrementando las posibilidades de adquirir infecciones [37].

Sin embargo, es necesario considerar que no todas las especies acuáticas son cultivables mediante la BFT. Las especies que si lo son, son aquellas capaces de tolerar altas concentraciones de materia orgánica en el agua. Entre las que se han cultivado con más éxito se encuentran la tilapia y el camarón. Se considera pues, que las conocidas como filtradoras son las más apropiadas para desarrollarse mediante BFT.

Un punto importante de esta tecnología es que deben mantenerse con aireación todo el tiempo, incluso se recomienda tener un sistema que provea oxígeno en caso de emergencia. En este punto radica una importante inconveniencia de esta tecnología, ya que un fallo en el suministro eléctrico que por ende cause un fallo en el suministro de aire a los tanques, puede causar la pérdida de los organismos en poco tiempo, aumentando también la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) sobre los valores normales establecidos [34], [38].

Por lo anterior, es de suma importancia la capacitación previa del personal encargado de trabajar en los cultivos con BFT. La formación debe incluir el saber cómo desarrollar esta tecnología y cuáles son elementos principales de la misma, de igual forma saber cómo responder en caso de algún fallo en el sistema [34], [36].





Los Bioflóculos como Alimento y sus ventajas

La harina de pescado es la fuente proteica más utilizada en la acuicultura, independientemente de la especie cultivada y según el hábito alimenticio del organismo, sean herbívoros, omnívoros o carnívoros [38]. Esto se debe a su alta calidad proteica, puesto que contiene los aminoácidos esenciales y no esenciales necesarios para los organismos de cultivo, además de ser una buena fuente de ácidos grasos, vitaminas y minerales [39].

Se ha estimado que aproximadamente el 68% de la producción a nivel mundial de harina de pescado va directamente al sector acuícola para alimento de organismos de cultivo [36]. Las estadísticas de producción de harina de pescado a nivel mundial son de 5 millones de toneladas al año; sin embargo, su producción se considera severamente afectada por diversos factores como la variabilidad climática, sobrepesca, y la contaminación [40].

Debido a las dificultades de la producción, el impacto ambiental que representa y el alto precio de este producto hace que sea indispensable la búsqueda de fuentes proteicas alternativas para la alimentación de los organismos acuáticos [42]. Como consecuencia de la abundancia de microorganismos que conforman el consorcio microbiano de los bioflóculos, éstos resultan ser ricos en carbohidratos, proteínas y lípidos, siendo un complemento alimentario que permite reducir el costo de la alimentación [43].

Las bacterias, son uno de los principales componentes de las comunidades microbianas de los bioflóculos, tienen un abundante contenido de proteína, que es aproximadamente 65% de su peso seco, además de tener un mayor contenido de nucleótidos que la harina de pescado [44]. Por otra parte, las microalgas suelen tener un papel importante en la BFT. *Scenedesmus spp* por ejemplo, suele proliferar bien en cultivos de agua dulce. El valor nutricional reportado de *Scenedesmus spp*. está compuesto por 52% de proteína cruda, 12% de grasa cruda, 10% de carbohidratos, 8.8% de ceniza y contiene vitaminas B6, B12 y E, así como de los aminoácidos alanina, serina, leucina, glicina y ácido aspártico que conforman 50% del total del contenido seco de esta microalga y de un 67% del total de ácidos grasos insaturados [45]. Esto es importante debido a que las di-

etas que contienen niveles superiores de ácidos grasos, aminoácidos, vitaminas y minerales a los requerimientos esenciales, pueden tener un impacto positivo en el bienestar y en la resistencia a enfermedades de los organismos de cultivo [39].

Los bioflóculos poseen propiedades importantes como aporte de bacterias probióticas a los organismos cultivados, además de los compuestos bioactivos producidos por las mismas, como los carotenoides, clorofilas, fitoesteroides, bromofenoles, entre otros.

Estos compuestos bioactivos tienen una función importante en el crecimiento de peces y camarones, e incluso se ha considerado que tienen efectos potenciadores en la salud de los organismos cultivados, proveyendo una alternativa interesante para mantener un sano desarrollo de peces y camarones.

Diversos estudios han reportado resultados alentadores sobre la adición de bioflóculos a la dieta de organismos de cultivo. Según lo reportado por Monroy-Dosta y col. (2013), la utilización de BFT puede reducir el costo de la alimentación en un 25%. Tongsiri y col. (2020), reportaron que el costo de alimentación en un sistema de cultivo de tilapia se vio reducido al utilizar BFT, y que en el bioflóculo se encontró un contenido nutricional apropiado (proteínas, lípidos y carbohidratos) para el desarrollo de los organismos de cultivo.

De manera similar, también se ha reportado para alvines de *O. niloticus* cultivados en un sistema biofloc tiene un efecto benéfico sobre el desempeño biológico, estado inmune y resistencia al estrés [50]. En otros estudios se ha reportado que la suplementación de la dieta con bioflóculos para camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) tuvo un efecto benéfico sobre el estado el desarrollo y la salud de los organismos [51].

CONCLUSIONES

Empleando el reciclaje de nutrientes mediante la acción de microorganismos ambientales, la BFT tiene gran potencial de dirigir a la acuicultura hacia un camino sustentable. Sin duda la acuicultura se está convirtiendo en una actividad económica cada vez más importante, aunque aún faltan cuestiones por investigar acerca de la aplicación de BFT, las ventajas de esta tecnología son indudables y puede contribuir a la implementación de sistemas de cultivo con una menor huella ecológica, desarrollando sistemas que permitan satisfacer las necesidades del presente, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. Con la adecuada investigación, la BFT podrá ser aplicada de forma segura cada vez a una mayor escala.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. G. Tacon, "Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017," *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, vol. 28, no. 1, pp. 43–56, 2020. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1649634>
- [2] K. Yue and Y. Shen, "An overview of disruptive technologies

- for aquaculture," *Aquaculture and Fisheries*, vol. 7., no. 2, p. 111-120, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- [3] M. Martinez-Porchas and L. R. Martinez-Cordova, "World Aquaculture: Environmental Impacts and Troubleshooting Alternatives," *The Scientific World Journal*, vol. 2012, p. 389623, 2012. <https://doi.org/10.1100/2012/389623>
 - [4] M. N. Henares, M. V. Medeiros, and A. F. Camargo, "Overview of strategies that contribute to the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment, and environmental assessment tools," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 1, pp. 453-470, 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12327>
 - [5] C. B. Carballeira Brana, K. Cerbule, P. Senff, and I. K. Stolz, "Towards environmental sustainability in marine finfish aquaculture," *Frontiers in Marine Science*, p. 343, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.666662>
 - [6] L. Ruelas, G. E. López, and M. V. Canela, "Uso y disposición del agua en la acuicultura: ¿falta o exceso de regulación?," *Teoría y Praxis*, no. 29, pp. 26-46, 2020.
 - [7] A. P. Tom, J. S. Jayakumar, M. Biju, J. Somarajan, and M. A. Ibrahim, "Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review," *Energy Nexus*, vol. 4, p. 100022, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100022>
 - [8] World Commission on Environment and Development. "Our common future". Oxford, England: Oxford University Press, 1987.
 - [9] A. B. Dauda, "Biofloc technology: a review on the microbial interactions, operational parameters and implications to disease and health management of cultured aquatic animals," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 2, pp. 1193-1210, 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12379>
 - [10] Kumar, V., Roy, S., Behera, B. K., Swain, H. S., & Das, B. K. Biofloc microbiome with bioremediation and health benefits. *Frontiers in Microbiology*, 12, 741164, 2021.
 - [11] Zafar, M. A., & Rana, M. M. Biofloc technology: an eco-friendly "green approach" to boost up aquaculture production. *Aquaculture International*, 30(1), 51-72, 2022.
 - [12] Singh, J., Sarma, K., Kumar, T., Ahirwal, S. K., & Keer, S. R. N. R. Bio-floc Technology (BFT): An Intensive Eco Sustainable and Cost-Effective Tool for Aquaculture. *Food Sci. Rep*, 10, 11-14, 2020.
 - [13] J. A. Pérez-Fuentes, C. I. Pérez-Rostro, M. P. Hernández-Vergara, and M. d. C. Monroy-Dosta, "Variation of the bacterial composition of biofloc and the intestine of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, cultivated using biofloc technology, supplied different feed rations," *Aquaculture Research*, vol. 49, no. 11, pp. 3658-3668, 2018. <https://doi.org/10.1111/are.13834>
 - [14] P. Yuvarajan, "Study on floc characteristics and bacterial count from biofloc-based genetically improved farmed tilapia culture system," *Aquaculture Research*, vol. 52, no. 4, pp. 1743-1756, 2021. <https://doi.org/10.1111/are.15030>
 - [15] M. A. Dawood, S. Koshio, M. M. Abdel-Daim, and H. Van Doan, "Probiotic application for sustainable aquaculture," *Reviews in Aquaculture*, vol. 11, no. 3, pp. 907-924, 2019. <https://doi.org/10.1111/raq.12272>
 - [16] S. Elayaraja et al., "Potential influence of jaggery-based biofloc technology at different C: N ratios on water quality, growth performance, innate immunity, immune-related genes expression profiles, and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Fish & Shellfish Immunology*, vol. 107, pp. 118-128, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.023>
 - [17] M. d. C. Monroy-Dosta, R. De Lara-Andrade, J. Castro-Mejía, G. Castro-Mejía, and M. G. Coelho-Emerenciano, "Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia," *Rev. biol. mar. Oceanogr*, vol. 48, pp. 511-520, 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572013000300009>
 - [18] F. Bakhshi, E. H. Najdegerami, R. Manaffar, A. Tokmechi, K. Rahmani Farah, and A. Shalazar Jalali, "Growth performance, haematology, antioxidant status, immune response and histology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed biofloc grown on different carbon sources," *Aquaculture Research*, vol. 49, no. 1, pp. 393-403, 2018. <https://doi.org/10.1111/are.13469>
 - [19] R. Rajeev, K. Adithya, G. S. Kiran, and J. Selvin, "Healthy microbiome: a key to successful and sustainable shrimp aquaculture," *Reviews in Aquaculture*, vol. 13, no. 1, pp. 238-258, 2021. <https://doi.org/10.1111/raq.12471>
 - [20] M. R. Pilotto et al., "Environmental rearing conditions are key determinants of changes in immune gene expression patterns in shrimp midgut," *Developmental & Comparative Immunology*, vol. 106, p. 103618, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2020.103618>
 - [21] J. Romero, C. G. Feijóo, and P. Navarrete, "Antibiotics in aquaculture—use, abuse and alternatives," *Health and environment in aquaculture*, vol. 159, pp. 159-198, 2012. <https://doi.org/10.5772/28157>
 - [22] F. C. Cabello, "Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment," *Environmental microbiology*, vol. 8, no. 7, pp. 1137-1144, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>
 - [23] D. Schar, E. Y. Klein, R. Laxminarayan, M. Gilbert, and T. P. Van Boeckel, "Global trends in antimicrobial use in aquaculture," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, p. 21878. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78849-3>
 - [24] E. O. Ogello, N. O. Outa, K. O. Obiero, D. N. Kyule, and J. M. Munguti, "The prospects of Biofloc Technology (BFT) for sustainable aquaculture development," *Scientific African*, vol. 14, p. e01053, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01053>
 - [25] M. H. Khanjani and M. Sharifinia, "Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production," *Reviews in aquaculture*, vol. 12, no. 3, pp. 1836-1850, 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>
 - [26] J.-Y. Jung et al., "Autotrophic biofloc technology system (ABFT) using *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* positively affects performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Algal research*, vol. 27, pp. 259-264, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.09.021>
 - [27] H. Van Doan et al., "Host-associated probiotics: a key factor in sustainable aquaculture," *Reviews in fisheries science & aquaculture*, vol. 28, no. 1, pp. 16-42, 2020. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1643288>
 - [28] L. G. Cardoso et al., "Spirulina sp. as a Bioremediation Agent for Aquaculture Wastewater: Production of High Added Value Compounds and Estimation of Theoretical Biodiesel," *BioEnergy Research*, vol. 14, no. 1, pp. 254-264, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10153-4>
 - [29] V. Hlrdzi et al., "The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review," *Aquaculture Reports*, vol. 18, p. 100503, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>
 - [30] M. E. Azim and D. C. Little, "The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Aquaculture*, vol. 283, no. 1-4, pp. 29-35, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
 - [31] E. C. Rodrigues de Lima, R. Liano de Souza, P. J. Montes Girao, Í. F. Mascena Braga, and E. de Souza Correia, "Culture of Nile tilapia in a biofloc system with different sources of carbon," *Revista Ciência Agronômica*, vol. 49, pp. 458-466,

2018. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180052>
- [32] A. T. Mansour and M. Á. Esteban, "Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Fish & shellfish immunology*, vol. 64, pp. 202-209, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.025>
- [33] L. G. Manduca *et al.*, "Effects of a zero exchange biofloc system on the growth performance and health of Nile tilapia at different stocking densities," *Aquaculture*, vol. 521, p. 735064, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735064>
- [34] M. Verdegem, R. Bosma, and J. Verreth, "Reducing water use for animal production through aquaculture," *Water resources development*, vol. 22, no. 1, pp. 101-113, 2006. <https://doi.org/10.1080/07900620500405544>
- [35] G. Abakari, G. Luo, and E. O. Kombat, "Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review," *Aquaculture and Fisheries*, vol. 6, no. 5, pp. 441-447, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.005>
- [36] G. L. Cárdenas Calvachi and I. A. Sánchez Ortiz, "Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública," *Universidad y Salud*, vol. 15, no. 1, pp. 72-88, 2013.
- [37] C. E. Boyd *et al.*, "Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges," *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 51, no. 3, pp. 578-633, 2020. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- [38] R. Luthada-Raswiswi, S. Mukaratirwa, and G. O'Brien, "Animal protein sources as a substitute for fishmeal in aquaculture diets: A systematic review and meta-analysis," *Applied sciences*, vol. 11, no. 9, p. 3854, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11093854>
- [39] P. da Silva Dias *et al.*, "Alternative Ingredients for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)-Bibliographical Review," *Brazilian Journal of Development*, vol. 6, no. 2, pp. 5767-5785, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjd.v6n2-033>
- [40] R. Rajeev, K. Adithya, G. S. Kiran, and J. Selvin, "Healthy microbiome: a key to successful and sustainable shrimp aquaculture," *Reviews in Aquaculture*, vol. 13, no. 1, pp. 238-258, 2021. <https://doi.org/10.1111/raq.12471>
- [41] H. S. Galkanda-Arachchige, A. E. Wilson, and D. A. Davis, "Success of fishmeal replacement through poultry by-product meal in aquaculture feed formulations: a meta-analysis," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 3, pp. 1624-1636, 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12401>
- [42] W. Malcorps *et al.*, "The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients in shrimp feeds," *Sustainability*, vol. 11, no. 4, p. 1212, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11041212>
- [43] S. Egerton *et al.*, "Replacing fishmeal with plant protein in Atlantic salmon (*Salmo salar*) diets by supplementation with fish protein hydrolysate," *Scientific reports*, vol. 10, no. 1, pp. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60325-7>
- [44] T. Sgnaulin, S. M. Pinho, E. G. Durigon, M. C. Thomas, G. L. de Mello, and M. G. C. Emerenciano, "Culture of pacu *Piaractus mesopotamicus* in biofloc technology (BFT): insights on dietary protein sparing and stomach content," *Aquaculture International*, vol. 29, no. 5, pp. 2319-2335, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00748-9>
- [45] C. Wang, J. Chuprom, Y. Wang, and L. Fu, "Beneficial bacteria for aquaculture: nutrition, bacteriostasis and immunoregulation," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 128, no. 1, pp. 28-40, 2020. <https://doi.org/10.1111/jam.14383>
- [46] T. M. Badwy, E. Ibrahim, and M. Zeinhom, "Partial replacement of fishmeal with dried microalga (*Chlorella* spp. and *Scenedesmus* spp.) in Nile tilapia (*Oreochromis*

niloticus) diets," in *8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 2008, vol. 2008, pp. 801-810.

- [47] A. Oliva-Teles, "Nutrition and health of aquaculture fish," *Journal of fish diseases*, vol. 35, no. 2, pp. 83-108, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01333.x>
- [48] H. Van Doan *et al.*, "Host-associated probiotics: a key factor in sustainable aquaculture," *Reviews in fisheries science & aquaculture*, vol. 28, no. 1, pp. 16-42, 2020. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1643288>
- [49] S. Tongsiri, N. Somkane, U. Sompong, and D. Thiammueang, "A cost and benefit analysis of Nile tilapia culture in biofloc technology, the environmental friendly system: the case of selected farm in Chiang Mai, Thailand," *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, vol. 2, no. 1, pp. 45-49, 2020. <https://doi.org/10.54279/mijeec.v2i1.244952>
- [50] A. T. Mansour and M. Á. Esteban, "Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Fish & shellfish immunology*, vol. 64, pp. 202-209, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.025>
- [51] C. Lee, S. Kim, S.-J. Lim, and K.-J. Lee, "Supplemental effects of biofloc powder on growth performance, innate immunity, and disease resistance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*," *Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 20, no. 1, p. 15, 2017/07/25 2017, doi: 10.1186/s41240-017-0059-7. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0059-7>
- [52] Kamboj, P., Dahiya, T., Singh, G., & Verma, R. Physico-Chemical Properties of Water in Biofloc Supplemented with Probiotics: a Review. *Journal of Experimental Zoology*, 24, 843-854, 2021.

Cómo citar este artículo:

Ochoa-Hernández, M. E., Villanueva-Gutiérrez, E., Martínez-Córdova, L. R., & Calderón Alvarado, K. del C. (2023). *Tecnología de Bioflóculos: Un camino hacia la acuicultura sustentable*. *EPISTEMUS*, 17(34). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.28>

