

1

EPISTEMUS 2023; Núm. 34, Vol. 17

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

www.epistemus.unison.mx

2

3

Tecnología de Bioflóculos: Un camino hacia la acuicultura sustentable

4

MARÍA ELENA OCHOA-HERNÁNDEZ¹, EMMANUEL VILLANUEVA-GUITÉRREZ², LUIS

5

RAFAEL MARTÍNEZ-CÓRDOVA³ Y KADIYA CALDERÓN⁴

6

RESUMEN

7

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.

17

18

Palabras clave: Bioflóculos; Acuicultura; Sustentable

19

20

¹M 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.

21

22

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

23

24

³Dr. (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.

25

26

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.

27

28

29

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

30

Recibido: 06 / 12 / 2022

31

Aceptado: 09 / 06 / 2023

32

Publicado: 16 / 08 / 2023

33

34

Cómo citar este artículo:

35

Ochoa-Hernández, M. E., Villanueva-Gutiérrez, E., Martínez-Córdova, L. R., & Calderón Alvarado, K. del C. (2023).

36

Tecnología de Bioflóculos: Un camino hacia la acuicultura sustentable. *EPISTEMUS*, 17(34).

37

<https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.28>

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17

Biofloc Technology: A Way for Sustainable Aquaculture

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.

Key words: *Bioflocs; Aquaculture; Sustainable.*





1 **Introducción**

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

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

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

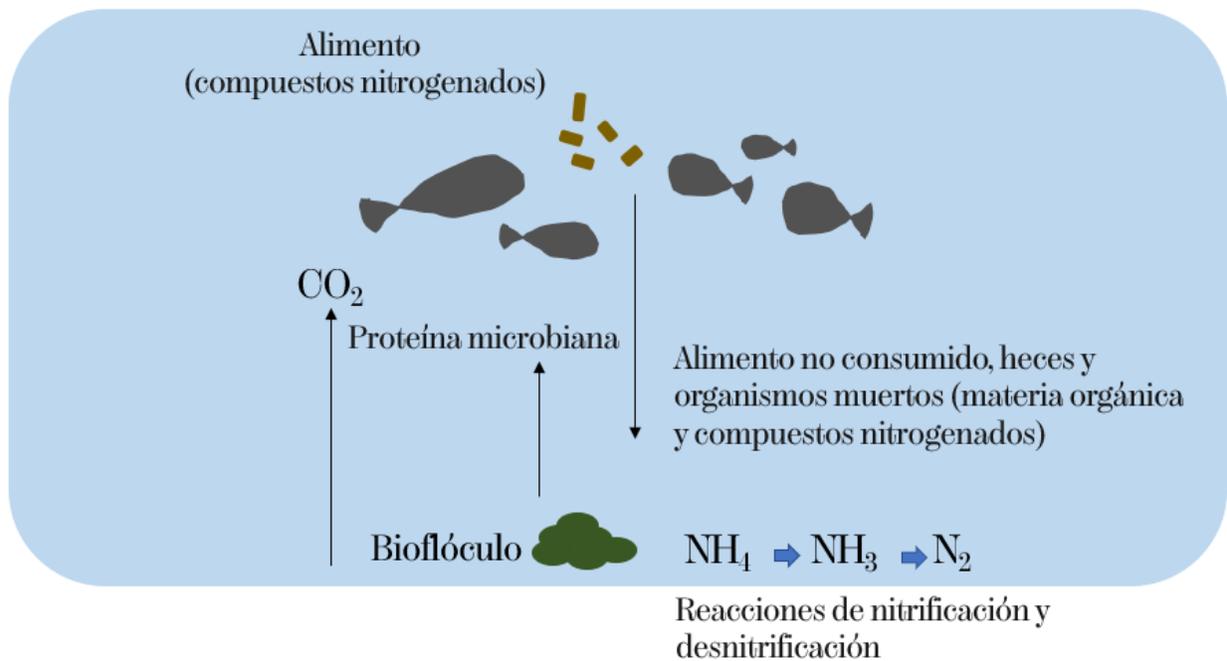
15 Los efluentes acuícolas sin tratamiento alguno, que son dispuestos en cuerpos de agua pueden
16 causar graves problemas ambientales como la eutrofización [7]. No obstante, la mala calidad del
17 agua afecta también a los organismos de cultivo provocando condiciones de estrés que los
18 vuelven más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

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



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

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



10

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

12 2021).



1 Este sistema fue desarrollado para obtener una tecnología de cultivo de bajo costo, sin necesidad
2 de recambios de agua [9,10,11,12]. Los bioflóculos están conformados por una amplia variedad de
3 microorganismos, los cuales pueden incluir: microalgas, protozoarios, anélidos, nematodos,
4 bacterias, rotíferos y copépodos; estos en conjunto forman una comunidad microbiana que se
5 adhieren a una matriz orgánica y están presentes como flóculos flotantes en la columna del agua
6 [13].

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

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

20

21

22



1 **Contribución de los Bioflóculos a la Inmunidad de los Organismos Acuáticos**

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

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

11 Como se mencionó anteriormente, los bioflóculos están conformados por una gran comunidad de
12 microorganismos que, en conjunto con sus componentes celulares y metabolitos, pueden actuar
13 como inmunoestimulantes y proveer protección contra microorganismos patógenos [15]. La
14 identidad y actividad de los microorganismos presentes en los bioflóculos es de gran importancia,
15 debido a que los organismos de cultivo están en constante contacto con su medio ambiente [19].

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

21 El mantenimiento de la salud de los organismos acuáticos no sólo es una cuestión económica
22 importante, sino que las infecciones suelen conducir al uso de medicamentos antimicrobianos o





1 antibióticos. Los agentes antimicrobianos son aquellos que pueden inhibir el desarrollo microbiano
2 o bien, eliminar los microorganismos patógenos que provocan la infección; estos pueden ser
3 aplicados por metafilaxis, que consiste en medicar a un grupo de organismos, incluyendo a los
4 enfermos y a los expuestos que no presentan la enfermedad o puede ser administrado como un
5 tratamiento profiláctico, que resulta preventivo [21].

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

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

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



1 **Mantenimiento de la Calidad del Agua**

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

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

9 Siendo el principal propósito de la BFT el mantenimiento de la calidad del agua, los
10 microorganismos presentes en los bioflóculos convierten el nitrógeno inorgánico (el cual es tóxico
11 y tiene un impacto negativo en el medio ambiente) en biomasa microbiana a través de la adición
12 de fuentes de carbono económicas (para mantener una adecuada tasa carbono-nitrógeno); por
13 su parte, la biomasa es utilizada como una fuente de alimento para los organismos del sistema
14 de cultivo [30].

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

20 En una investigación realizada por Rodrigues de Lima y col. (2018) se implementó BFT para
21 cultivo de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), se encontró una reducción del volumen de agua
22 utilizada 11.8 veces menor en comparación a un sistema de cultivo convencional. Esto es



1 realmente importante si se considera que la cantidad de agua utilizada en estanques de cultivo es
2 de aproximadamente 45 m³ por kg producido [34].

3 Uno de los principales procesos por los que se lleva a cabo la remoción de nutrientes en los
4 sistemas BFT son la nitrificación y la desnitrificación. La nitrificación es el proceso biológico en el
5 que las formas tóxicas del nitrógeno (como los nitritos y el nitrógeno amoniacal) son transformadas
6 por medio de la acción microbiana a nitratos (compuestos de menor toxicidad), y posteriormente,
7 los nitratos son reducidos a nitrógeno gaseoso (compuesto no tóxico) [38],[39].

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

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

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



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

5

6 **Los Bioflóculos como Alimento y sus ventajas**

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

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

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



1 Las bacterias, son uno de los principales componentes de las comunidades microbianas de los
2 bioflóculos, tienen un abundante contenido de proteína, que es aproximadamente 65% de su peso
3 seco, además de tener un mayor contenido de nucleótidos que la harina de pescado [44]. Por otra
4 parte, las microalgas suelen tener un papel importante en la BFT. *Scenedemus spp* por ejemplo,
5 suele proliferar bien en cultivos de agua dulce. El valor nutricional reportado de *Scenedesmus*
6 spp. está compuesto por 52% de proteína cruda, 12% de grasa cruda, 10% de carbohidratos,
7 8.8% de ceniza y contiene vitaminas B6, B12 y E, así como de los aminoácidos alanina, serina,
8 leucina, glicina y ácido aspártico que conforman 50% del total del contenido seco de esta
9 microalga y de un 67% del total de ácidos grasos insaturados [45]. Esto es importante debido a
10 que las dietas que contienen niveles superiores de ácidos grasos, aminoácidos, vitaminas y
11 minerales a los requerimientos esenciales, pueden tener un impacto positivo en el bienestar y en
12 la resistencia a enfermedades de los organismos de cultivo [39].

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

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

20 Diversos estudios han reportado resultados alentadores sobre la adición de bioflóculos a la dieta
21 de organismos de cultivo. Según lo reportado por Monroy-Dosta y col. (2013), la utilización de
22 BFT puede reducir el costo de la alimentación en un 25%. Tongsiri y col. (2020), reportaron que



1 el costo de alimentación en un sistema de cultivo de tilapia se vio reducido al utilizar BFT, y que
2 en el bioflóculo se encontró un contenido nutricional apropiado (proteínas, lípidos y carbohidratos)
3 para el desarrollo de los organismos de cultivo.

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

9

10 Conclusiones

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

20

21

22





1 Referencias

- 2 [1] A. G. Tacon, "Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017," *Reviews in*
3 *Fisheries Science & Aquaculture*, vol. 28, no. 1, pp. 43-56, 2020.
4 <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1649634>
- 5 [2] K. Yue and Y. Shen, "An overview of disruptive technologies for aquaculture," *Aquaculture and*
6 *Fisheries*, vol. 7., no. 2, p. 111-120, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- 7 [3] M. Martinez-Porchas and L. R. Martinez-Cordova, "World Aquaculture: Environmental Impacts
8 and Troubleshooting Alternatives," *The Scientific World Journal*, vol. 2012, p. 389623,
9 2012. <https://doi.org/10.1100/2012/389623>
- 10 [4] M. N. Henares, M. V. Medeiros, and A. F. Camargo, "Overview of strategies that contribute to
11 the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment,
12 and environmental assessment tools," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 1, pp. 453-470,
13 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12327>
- 14 [5] C. B. Carballeira Brana, K. Cerbule, P. Senff, and I. K. Stolz, "Towards environmental
15 sustainability in marine finfish aquaculture," *Frontiers in Marine Science*, p. 343, 2021.
16 <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.666662>
- 17 [6] L. Ruelas, G. E. López, and M. V. Canela, "Uso y disposición del agua en la acuicultura: ¿falta
18 o exceso de regulación?," *Teoría y Praxis*, no. 29, pp. 26-46, 2020.
- 19 [7] A. P. Tom, J. S. Jayakumar, M. Biju, J. Somarajan, and M. A. Ibrahim, "Aquaculture wastewater
20 treatment technologies and their sustainability: A review," *Energy Nexus*, vol. 4, p. 100022,
21 2021. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100022>
- 22 [8] World Commission on Environment and Development. "Our common future". Oxford, England:
23 Oxford University Press, 1987.
- 24 [9] A. B. Dauda, "Biofloc technology: a review on the microbial interactions, operational
25 parameters and implications to disease and health management of cultured aquatic
26 animals," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 2, pp. 1193-1210, 2020.
27 <https://doi.org/10.1111/raq.12379>
- 28 [10] Kumar, V., Roy, S., Behera, B. K., Swain, H. S., & Das, B. K. Biofloc microbiome with
29 bioremediation and health benefits. *Frontiers in Microbiology*, 12, 741164, 2021.
- 30 [11] Zafar, M. A., & Rana, M. M. Biofloc technology: an eco-friendly "green approach" to boost up
31 aquaculture production. *Aquaculture International*, 30(1), 51-72, 2022.



- 1 [12] Singh, J., Sarma, K., Kumar, T., Ahirwal, S. K., & Keer, S. R. N. R. Bio-floc Technology (BFT):
2 An Intensive Eco Sustainable and Cost-Effective Tool for Aquaculture. *Food Sci. Rep*, 10,
3 11-14, 2020.
- 4 [13] J. A. Pérez-Fuentes, C. I. Pérez-Rostro, M. P. Hernández-Vergara, and M. d. C. Monroy-
5 Dosta, "Variation of the bacterial composition of biofloc and the intestine of Nile tilapia
6 *Oreochromis niloticus*, cultivated using biofloc technology, supplied different feed
7 rations," *Aquaculture Research*, vol. 49, no. 11, pp. 3658-3668, 2018.
8 <https://doi.org/10.1111/are.13834>
- 9 [14] P. Yuvarajan, "Study on floc characteristics and bacterial count from biofloc-based genetically
10 improved farmed tilapia culture system," *Aquaculture Research*, vol. 52, no. 4, pp. 1743-
11 1756, 2021. <https://doi.org/10.1111/are.15030>
- 12 [15] M. A. Dawood, S. Koshio, M. M. Abdel-Daim, and H. Van Doan, "Probiotic application for
13 sustainable aquaculture," *Reviews in Aquaculture*, vol. 11, no. 3, pp. 907-924, 2019.
14 <https://doi.org/10.1111/raq.12272>
- 15 [16] S. Elayaraja *et al.*, "Potential influence of jaggery-based biofloc technology at different C: N
16 ratios on water quality, growth performance, innate immunity, immune-related genes
17 expression profiles, and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* in Nile tilapia
18 (*Oreochromis niloticus*)," *Fish & Shellfish Immunology*, vol. 107, pp. 118-128, 2020.
19 <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.09.023>
- 20 [17] M. d. C. Monroy-Dosta, R. De Lara-Andrade, J. Castro-Mejía, G. Castro-Mejía, and M. G.
21 Coelho-Emerenciano, "Composición y abundancia de comunidades microbianas
22 asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia," *Rev. biol. mar. Oceanogr*, vol. 48, pp. 511-
23 520, 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572013000300009>
- 24 [18] F. Bakhshi, E. H Najdegerami, R. Manaffar, A. Tokmechi, K. Rahmani Farah, and A. Shalizar
25 Jalali, "Growth performance, haematology, antioxidant status, immune response and
26 histology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed biofloc grown on different carbon
27 sources," *Aquaculture Research*, vol. 49, no. 1, pp. 393-403, 2018.
28 <https://doi.org/10.1111/are.13469>
- 29 [19] R. Rajeev, K. Adithya, G. S. Kiran, and J. Selvin, "Healthy microbiome: a key to successful
30 and sustainable shrimp aquaculture," *Reviews in Aquaculture*, vol. 13, no. 1, pp. 238-258,
31 2021. <https://doi.org/10.1111/raq.12471>
- 32 [20] M. R. Pilotto *et al.*, "Environmental rearing conditions are key determinants of changes in
33 immune gene expression patterns in shrimp midgut," *Developmental & Comparative*
34 *Immunology*, vol. 106, p. 103618, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2020.103618>





- 1
2 [21] J. Romero, C. G. Feijoó, and P. Navarrete, "Antibiotics in aquaculture—use, abuse and
3 alternatives," *Health and environment in aquaculture*, vol. 159, pp. 159-198, 2012.
4 <https://doi.org/10.5772/28157>
- 5 [22] F. C. Cabello, "Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for
6 human and animal health and for the environment," *Environmental microbiology*, vol. 8, no.
7 7, pp. 1137-1144, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>
8
- 9 [23] D. Schar, E. Y. Klein, R. Laxminarayan, M. Gilbert, and T. P. Van Boeckel, "Global trends in
10 antimicrobial use in aquaculture," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, p. 21878.
11 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78849-3>
- 12 [24] E. O. Ogello, N. O. Outa, K. O. Obiero, D. N. Kyule, and J. M. Munguti, "The prospects of
13 Biofloc Technology (BFT) for sustainable aquaculture development," *Scientific African*, vol.
14 14, p. e01053, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01053>
- 15 [25] M. H. Khanjani and M. Sharifinia, "Biofloc technology as a promising tool to improve
16 aquaculture production," *Reviews in aquaculture*, vol. 12, no. 3, pp. 1836-1850, 2020.
17 <https://doi.org/10.1111/raq.12412>
- 18 [26] J.-Y. Jung *et al.*, "Autotrophic biofloc technology system (ABFT) using *Chlorella vulgaris* and
19 *Scenedesmus obliquus* positively affects performance of Nile tilapia (*Oreochromis*
20 *niloticus*)," *Algal research*, vol. 27, pp. 259-264, 2017.
21 <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.09.021>
- 22 [27] H. Van Doan *et al.*, "Host-associated probiotics: a key factor in sustainable
23 aquaculture," *Reviews in fisheries science & aquaculture*, vol. 28, no. 1, pp. 16-42, 2020.
24 <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1643288>
- 25 [28] L. G. Cardoso *et al.*, "Spirulina sp. as a Bioremediation Agent for Aquaculture Wastewater:
26 Production of High Added Value Compounds and Estimation of Theoretical
27 Biodiesel," *BioEnergy Research*, vol. 14, no. 1, pp. 254-264, 2021.
28 <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10153-4>
- 29 [29] V. Hlordzi *et al.*, "The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture:
30 A review," *Aquaculture Reports*, vol. 18, p. 100503, 2020.
31 <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>
- 32 [30] M. E. Azim and D. C. Little, "The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality,
33 biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis*
34 *niloticus*)," *Aquaculture*, vol. 283, no. 1-4, pp. 29-35, 2008.
35 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>



- 1 [31] E. C. Rodrigues de Lima, R. Liano de Souza, P. J. Montes Girao, Í. F. Mascena Braga, and
2 E. de Souza Correia, "Culture of Nile tilapia in a biofloc system with different sources of
3 carbon," *Revista Ciência Agronômica*, vol. 49, pp. 458-466, 2018.
4 <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180052>
- 5 [32] A. T. Mansour and M. Á. Esteban, "Effects of carbon sources and plant protein levels in a
6 biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile
7 tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Fish & shellfish immunology*, vol. 64, pp. 202-209, 2017.
8 <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.025>
- 9 [33] L. G. Manduca *et al.*, "Effects of a zero exchange biofloc system on the growth performance
10 and health of Nile tilapia at different stocking densities," *Aquaculture*, vol. 521, p. 735064,
11 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735064>
- 12 [34] M. Verdegem, R. Bosma, and J. Verreth, "Reducing water use for animal production through
13 aquaculture," *Water resources development*, vol. 22, no. 1, pp. 101-113, 2006.
14 <https://doi.org/10.1080/07900620500405544>
- 15
- 16 [35] G. Abakari, G. Luo, and E. O. Kombat, "Dynamics of nitrogenous compounds and their control
17 in biofloc technology (BFT) systems: A review," *Aquaculture and Fisheries*, vol. 6, no. 5, pp. 441-
18 447, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.05.005>
- 19 [36] G. L. Cárdenas Calvachi and I. A. Sánchez Ortiz, "Nitrógeno en aguas residuales: orígenes,
20 efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud
21 pública," *Universidad y Salud*, vol. 15, no. 1, pp. 72-88, 2013.
- 22 [37] C. E. Boyd *et al.*, "Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and
23 future needs and challenges," *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 51, no. 3, pp.
24 578-633, 2020. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- 25 [38] R. Luthada-Raswiswi, S. Mukaratirwa, and G. O'Brien, "Animal protein sources as a substitute
26 for fishmeal in aquaculture diets: A systematic review and meta-analysis," *Applied
27 sciences*, vol. 11, no. 9, p. 3854, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11093854>
- 28 [39] P. da Silva Dias *et al.*, "Alternative Ingredients for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)-
29 Bibliographical Review," *Brazilian Journal of Development*, vol. 6, no. 2, pp. 5767-5785,
30 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-033>
- 31 [40] R. Rajeev, K. Adithya, G. S. Kiran, and J. Selvin, "Healthy microbiome: a key to successful
32 and sustainable shrimp aquaculture," *Reviews in Aquaculture*, vol. 13, no. 1, pp. 238-258,
33 2021. <https://doi.org/10.1111/raq.12471>





- 1 [41] H. S. Galkanda-Arachchige, A. E. Wilson, and D. A. Davis, "Success of fishmeal replacement
2 through poultry by-product meal in aquaculture feed formulations: a meta-
3 analysis," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 3, pp. 1624-1636, 2020.
4 <https://doi.org/10.1111/raq.12401>
- 5 [42] W. Malcorps *et al.*, "The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients
6 in shrimp feeds," *Sustainability*, vol. 11, no. 4, p. 1212, 2019.
7 <https://doi.org/10.3390/su11041212>
- 8 [43] S. Egerton *et al.*, "Replacing fishmeal with plant protein in Atlantic salmon (*Salmo salar*) diets
9 by supplementation with fish protein hydrolysate," *Scientific reports*, vol. 10, no. 1, pp. 1-
10 16, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60325-7>
- 11
- 12 [44] T. Sgnaulin, S. M. Pinho, E. G. Durigon, M. C. Thomas, G. L. de Mello, and M. G. C.
13 Emerenciano, "Culture of pacu *Piaractus mesopotamicus* in biofloc technology (BFT):
14 insights on dietary protein sparing and stomach content," *Aquaculture International*, vol. 29,
15 no. 5, pp. 2319-2335, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00748-9>
- 16 [45] C. Wang, J. Chuprom, Y. Wang, and L. Fu, "Beneficial bacteria for aquaculture: nutrition,
17 bacteriostasis and immunoregulation," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 128, no. 1, pp.
18 28-40, 2020. <https://doi.org/10.1111/jam.14383>
- 19 [46] T. M. Badwy, E. Ibrahim, and M. Zeinhom, "Partial replacement of fishmeal with dried
20 microalga (*Chlorella* spp. and *Scenedesmus* spp.) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)
21 diets," in *8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 2008, vol. 2008, pp. 801-
22 810.
- 23 [47] A. Oliva-Teles, "Nutrition and health of aquaculture fish," *Journal of fish diseases*, vol. 35, no.
24 2, pp. 83-108, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01333.x>
- 25 [48] H. Van Doan *et al.*, "Host-associated probiotics: a key factor in sustainable
26 aquaculture," *Reviews in fisheries science & aquaculture*, vol. 28, no. 1, pp. 16-42, 2020.
27 <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1643288>
- 28 [49] S. Tongsiri, N. Somkane, U. Sompong, and D. Thiammueang, "A cost and benefit analysis of
29 Nile tilapia culture in biofloc technology, the environmental friendly system: the case of
30 selected farm in Chiang Mai, Thailand," *Maejo International Journal of Energy and
31 Environmental Communication*, vol. 2, no. 1, pp. 45-49, 2020.
32 <https://doi.org/10.54279/mijeec.v2i1.244952>
- 33 [50] A. T. Mansour and M. Á. Esteban, "Effects of carbon sources and plant protein levels in a
34 biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile



1 tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Fish & shellfish immunology*, vol. 64, pp. 202-209, 2017.
2 <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.025>

3 [51] C. Lee, S. Kim, S.-J. Lim, and K.-J. Lee, "Supplemental effects of biofloc powder on growth
4 performance, innate immunity, and disease resistance of Pacific white shrimp *Litopenaeus*
5 *vannamei*," *Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 20, no. 1, p. 15, 2017/07/25 2017, doi:
6 10.1186/s41240-017-0059-7. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0059-7>

7 [52] Kamboj, P., Dahiya, T., Singh, G., & Verma, R. Physico-Chemical Properties of Water in
8 Biofloc Supplemented with Probiotics: a Review. *Journal of Experimental Zoology*, 24, 843-
9 854, 2021.

10

11

12 **Cómo citar este artículo:**

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

16

17

18

