

**Artículo de Revisión**

**EL BIOFLOC EN LA ACUICULTURA**

**BIOFLOC IN AQUACULTURE**

Linnet Gálvez-Cantero <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7173-3349>  
María Caridad Julián-Ricardo <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1800-7345>  
Luis Beltrán Ramos-Sánchez <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6403-1936>

<sup>1</sup> Grupo de Desarrollo de BioProcesos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Carretera Circunvalación Norte km 5½. Camagüey, Cuba.

Recibido: Diciembre 7, 2021; Revisado: Enero 21, 2022; Aceptado: Marzo 4, 2022

**RESUMEN**

**Introducción:**

La población creciente en la Tierra requiere la expansión e intensificación de la producción acuícola. El interés en los sistemas basados en biofloc ha aumentado porque pueden proporcionar bioseguridad, son financieramente sostenibles y pueden aplicarse en diversos sistemas.

**Objetivo:**

Realizar una revisión de la literatura científica sobre la importancia del biofloc en la acuicultura.

**Materiales y métodos:**

Se realizó una búsqueda de información en la literatura científica especializada; sintetizándose lo más importante, por lo que se logró definir el concepto de Biofloc, sus características más relevantes, condiciones de desarrollo; así como otros aspectos de vital importancia para su aplicación.

**Resultados y discusión:**

Los bioflocs son una comunidad formada por microorganismos asociados entre sí en un sustrato suspendido que responde a una dinámica de malla trófica. El desarrollo del biofloc se ve afectado por una serie de factores y su calidad nutricional es similar a la del alimento obtenido por las especies cultivadas en su hábitat natural. Las fuentes de carbono más utilizadas en los sistemas biofloc son: azúcar, melaza y almidón; sin embargo, los residuos agroindustriales son ricos en compuestos bioactivos, por lo que pueden ser utilizados como materia prima para el crecimiento microbiano.

**Conclusiones:**

Aunque queda mucho por saber, el hecho de que la tecnología de bioflocs trate



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

\* Autor para la correspondencia: Linnet Gálvez, Email: [linnet.galvez@reduc.edu.cu](mailto:linnet.galvez@reduc.edu.cu)



conceptualmente los desechos como una oportunidad para la producción en el sitio, lo convierte en una alternativa posible y amigable con el ecosistema.

**Palabras clave:** acuicultura; biofloc; microorganismos.

## **ABSTRACT**

### **Introduction:**

The growing Earth population requires the aquaculture production expansion and intensification. Interest in biofloc-based systems has increased because they can provide biosecurity, are financially sustainable, and can be applied in a variety of systems.

### **Objective:**

To carry out a scientific literature review about the importance of biofloc in aquaculture.

### **Materials and Methods:**

An information search was carried out in specialized scientific literature; synthesizing the most important, for which it was possible to define the concept of Biofloc, its most relevant characteristics, development conditions, as well as other aspects of vital importance for this technology understanding and application.

### **Results and Discussion:**

Bioflocs are a community formed by microorganisms associated with each other in a suspended substrate that responds to trophic mesh dynamics. Biofloc development is affected by many factors and its nutritional quality is similar than the food obtained by species grown in their natural habitat. The most used carbon sources in biofloc systems are: sugar, molasses and starch; however, agro-industrial waste is rich in bioactive compounds, so it can be used as raw material for microbial growth.

### **Conclusions:**

Although much remains to be known, the fact that biofloc technology conceptually declared the wastes as an opportunity for on-site production makes it a possible and eco-friendly alternative.

**Keywords:** aquaculture; biofloc; microorganisms.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Con una población creciente en la tierra, la demanda por la comida acuática continúa aumentando y, por tanto, la expansión e intensificación de la producción acuícola es requerida. La primera meta de expansión de la acuicultura debe ser producir más sin aumentar el uso de los recursos naturales básicos significativamente, dígase agua y tierra. La segunda meta es desarrollar sistemas de acuicultura sustentables que no dañen el ambiente. La tercera meta es construir sistemas que proporcionen una justa relación costo/beneficio para apoyar el mantenimiento económico y social (Avnimelech, 2009). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) tanto la pesca como la acuicultura pueden hacer una importante contribución a la consecución de todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y constituye el núcleo del Objetivo 14: Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. Estos requisitos

previos para el desarrollo de una acuicultura sustentable deben tenerse en cuenta a la hora de implementar la tecnología del biofloc.

El interés en los sistemas basados en el biofloc ha crecido durante los últimos veinte años, porque estos sistemas pueden proporcionar bioseguridad, son financieramente sustentables y pueden aplicarse en estanques, tanques y canales. Se basa en aprovechar los residuos de los alimentos, materia orgánica y compuestos inorgánicos tóxicos (los cuales conllevan al deterioro de la calidad del agua y al poco aprovechamiento del alimento natural), a través de microorganismos presentes en los medios acuáticos, dando condiciones de dominancia a comunidades bacterianas quimio/foto autótrofos y heterótrofos, resolviendo así sustancialmente los problemas de saturación de nutrientes a partir de su reciclaje (Avnimelech, 2009).

Actualmente, en el sector pesquero en Cuba se ha identificado como tendencia la aplicación de la metodología de floculación microbiana denominada Biofloc, destacándose que permite intensificar la densidad del cultivo; mejorar la calidad del agua y la sanidad y bienestar de las especies (Puentes y col., 2021).

Se definió como objetivo realizar una revisión de la literatura científica sobre la importancia del biofloc en la acuicultura.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó una búsqueda de información en la literatura científica especializada en el tema; sintetizándose lo más importante y destacado, por lo que se logró definir el concepto de Biofloc, sus características más relevantes, condiciones de desarrollo, valor nutricional; así como otros aspectos de vital importancia para su aplicación.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***3.1 Bioflocs***

Los bioflocs son agregados de bacterias, algas heterotróficas y otros organismos microscópicos como rotíferos y nematodos, que forman partículas de tamaños diversos y altamente porosos, lo que les permite flotar más fácilmente. Así nació el concepto de biofloc, como el de una comunidad constituida de microorganismos asociados entre sí en un sustrato suspendido o flotante que responde a una dinámica de malla trófica que se inicia en heterótrofos capaces de fijar carbono desde las sustancias y partículas orgánicas en el agua y cuya densidad se sitúa entre 10 y 1 000 millones de células microbianas/cm<sup>3</sup> (Burford y col., 2004). La comunidad del biofloc es de forma irregular, deformable, porosa, de tamaño indefinido (desde pocas micras hasta varios centímetros de diámetro), y más denso que el agua por lo que tienden a sedimentarse lentamente. Funcionalmente, es un complejo donde ocurren al mismo tiempo actividades autotróficas y heterotróficas utilizando aportes exógenos (Ebeling y col., 2006). Cada biofloc es también un micronicho con necesidades fisiológicas particulares según este agregado y en el que cohabitan procesos complementarios aeróbicos y anaeróbicos siendo las interacciones que se producen piezas claves para el mantenimiento de la calidad de las aguas (Ray y col., 2010).

Los biofloc pueden ser de distintos tamaños, desde microscópicos a mayores que un mm. Incluso, organismos más grandes como nematodos pueden formar parte del biofloc

y volverse una parte íntegra de algunos agregados (Hargreaves, 2013; Ray y col., 2010). Son de formas irregulares y bastante frágiles. Están unidos por secreciones bacterianas, microorganismos filamentosos y fuerzas electrostáticas (De Schryver y col., 2008).

La densidad en peso húmedo del biofloc normalmente es sólo ligeramente mayor que 1 g/mL, por lo que los agregados de biofloc se hunden despacio y son relativamente fáciles de mantener en suspensión (De Schryver y col., 2008). Al poseer un 99% de porosidad, se intercambian nutrientes, oxígeno y productos de desecho entre el interior del biofloc y el agua circundante, y esto se refuerza por el mezclado común en los sistemas del biofloc (Crab y col., 2012).

Los microorganismos presentes en el biofloc varían entre los sistemas y también dentro del mismo sistema con el tiempo. En los sistemas de acuicultura las bacterias dominan el biofloc, pues no sólo son abundantes (más de 100 millones de bacterias/mL), sino que exhiben una gran diversidad. Teniendo en cuenta lo anterior, el uso y cultivo de los biofloc microbianos a partir de una alta relación de C:N en el agua, ha sido empleado para la acuicultura como un sistema alternativo súper-intensivo de producción, donde el nitrógeno proviene del alimento no consumido y de la excreción propia de la especie de cultivo y el carbono de la adición de una fuente externa de carbohidratos, con poco o nulo recambio de agua y una alta oxigenación (Avnimelech, 2012).

El desarrollo de los conceptos y aplicaciones referidas han dado origen al abreviado BFT (del inglés Bio-Floc Technology), que además se fundamenta en mantener las condiciones de calidad del agua en relación con la fijación y control del nitrógeno inorgánico tóxico:  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ , y en generar “in situ”, proteína microbiana aprovechable como alimento por la especie cultivada (De Schryver y col., 2008; Monroy-Dosta y col., 2013; Ekasari y col., 2014).

### ***3.2 Desarrollo del biofloc***

El biofloc se desarrolla cuando en los sistemas existe un elevado nivel de materia orgánica, tal como comida sin digerir, desechos de las especies cultivadas o un agregado orgánico (Yao y col., 2018). La proporción de desarrollo del biofloc puede mejorar agregando carbono orgánico para estimular la formación del biofloc.

El desarrollo del biofloc es afectado por un rango de factores: la temperatura, el oxígeno disuelto (OD), el pH, la carga orgánica, la luz y el mezclado, en general: los agregados son más grandes y densos a temperaturas más altas y mayor OD. La temperatura de 28 a 30 °C es ideal para especies tropicales y el OD ideal es sobre los 4,0 mg L<sup>-1</sup> y al menos 60% de saturación. El mezclado intenso rompe a los agregados, reduciendo su tamaño promedio (De Schryver y col., 2008); las altas velocidades de bombeo a través de orificios pequeños reducen el tamaño de los flocs; bajos niveles de OD favorecen el crecimiento de bacterias filamentosas, probablemente debido a su alta proporción superficie/volumen; el pH afecta el biofloc directamente (cada especie tiene su rango óptimo) e indirectamente a través de sus relaciones con la alcalinidad, carbono inorgánico, y amoníaco, el rango normal observado es de 6,8 a 8,0; las cargas orgánicas altas promueven el desarrollo más rápido (mientras que otros factores sean limitados) y la luz afecta la abundancia de organismos fotoautótrofos en el biofloc (Emerenciano y col., 2017).

### **3.3 Valor nutricional**

Los alimentos y la forma de alimentación son críticos para el funcionamiento de cualquier sistema acuícola. Los alimentos son la partida de mayor costo en el manejo de cualquier sistema, por lo que una de las ventajas de operar un sistema basado en el biofloc es que se logra una nutrición exitosa y se mejora la calidad del agua.

La calidad nutritiva del biofloc es similar a la de la comida que obtienen las especies cultivadas en su hábitat natural. El biofloc adecuadamente denso y mantenido a lo largo del ciclo de la cosecha reduce la necesidad por el alimento formulado que típicamente afecta los costos de producción más de un 50% (Tacon y col., 2002; Avnimelech, 2009).

Se relaciona la calidad nutritiva de biofloc a la proporción de carbono/nitrógeno en el agua de cultivo, el nivel de proteínas y la intensidad luminosa. Éstos y otros factores son discutidos en detalle por De Schryver y col., (2008), Avnimelech (2009) y Crab y col., (2012). Según Emerenciano y col., (2013) y Ekasari y col., (2014) la composición del biofloc (peso seco) es como sigue: entre 12 y 50%, proteínas, pero típicamente de 30 a 45%, similar a la mayoría los alimentos industriales; entre 0,5 y 41,0%, lípidos, pero normalmente de 1 a 5%; entre 14 y 59%, hidratos de carbono y entre 3,0 y 61,4%: cenizas.

La variación que se observa se debe a las diferencias en la composición entre el biofloc joven y el maduro, así como a las condiciones de cultivo diferentes. Además, la cantidad y calidad de la materia orgánica suministrada determinan en última instancia el valor nutritivo del biofloc. Como expresa Avnimelech (2009): El punto simplemente es que “el biofloc es lo que come”. Si los sustratos orgánicos apropiados se proporcionan, entonces los bioflocs guardarán compuestos de calidad superior que contribuyen a las necesidades nutritivas de las especies cultivadas.

Las proteínas del biofloc activan enzimas digestivas que los hacen ser más fácilmente metabolizadas que las proteínas en el alimento fabricado. Más allá de su análisis inmediato, el biofloc marino es típicamente rico en los aminoácidos: valina, lisina, leucina, fenilalanina y treonina, pero puede ser deficiente en arginina, metionina, y cisteína, así como deficiente en vitamina C (Crab y col., 2012; Ekasari y col., 2014). Por consiguiente, el biofloc como alimento único es insuficiente en garantizar el crecimiento y la supervivencia de las especies. De ahí que se apueste por el biofloc como un suplemento alimenticio, con un excelente aporte nutricional a muy bajo costo, haciendo más eficiente la producción piscícola y camaronera (Hernández y col., 2019).

### **3.4 Compuestos nitrogenados**

Como se sabe todos los sistemas de producción piscícola generan desperdicios (constituidos por material sólido, alimento no consumido, heces y materiales solubles como fósforo y nitrógeno), y productos de excreción (de los peces en cultivo), en especial esto es cierto cuando se usan grandes raciones para la alimentación, agudizándose con el aumento de la biomasa que demanda más alimento.

El nitrógeno puede estar presente en los ambientes acuáticos en formas de nitrato, nitrito, amonio ionizado, amonio no ionizado, óxido nitroso, óxido nítrico, nitrógeno molecular, nitrógeno orgánico disuelto (péptidos, purinas, aminas, aminoácidos) y como nitrógeno orgánico particulado. De todas estas formas de nitrógeno, los nitratos y el

amonio son los más importantes para los ecosistemas acuáticos, por cuanto constituyen la fuente principal de nitrógeno biodisponible para la generación de cadenas tróficas, siendo que el amonio y el nitrito son tóxicos para los peces y se convierten en un factor limitante para el crecimiento y sobrevivencia de estos en cultivo. Así que, removerlo o transformarlo en nitrógeno no tóxico es esencial cuando se pretende aumentar la biomasa del sistema y disminuir los riesgos (Ebeling y col., 2006; Avnimelech, 2009).

### **3.5 Relaciones C:N en BFT**

Las relaciones C:N han variado entre autores reportando tasas mayor que 10:1 (Azim y Little, 2008); 12-13:1 (Schneider y col., 2006); 15:1 (Monroy-Dosta y col., 2013), 20:1 (De Schryver y col., 2008; Avnimelech, 2009; Ekasari y col., 2014).

Los aportes de restos nitrogenados de los peces (excreción más alimento no consumido), al disolverse desequilibran la relación del nitrógeno con el carbono, para controlar tal desequilibrio la BFT propone agregar algún material rico en carbono soluble, uno o una mezcla de carbohidratos. La cantidad de carbohidrato suplementario requerido para mantener reducido el amonio depende de la cantidad de alimento suministrado (relacionado con la biomasa), las estimaciones deben entonces tener en cuenta el porcentaje de proteína del alimento, el porcentaje de nitrógeno presente en la proteína (aproximadamente 16%), y el porcentaje de excreción de dicho nitrógeno (75% por excreción más alimento no consumido) (De Schryver y col., 2008), descontado previamente el porcentaje de humedad propio de cada alimento, aspecto que no siempre se considera.

#### **3.5.1 Fuentes de carbono utilizadas**

Las fuentes de carbono más utilizadas en los sistemas biofloc son: azúcar (Kuhn y col., 2010), melaza (Tacon y col., 2002; Azim y Little, 2008; Emerenciano y col., 2012) y almidón (Avnimelech, 2009). Sin embargo, Crab y col., (2009) utilizaron una mezcla de acetato, glicerol y glucosa. También se usa el glicerol en la industria microbiológica para la obtención de productos de alto valor añadido (Ondul y Dizge, 2014; Quan y col., 2017).

Los residuos agroindustriales son ricos en compuestos bioactivos por lo que pueden ser utilizados como materia prima para el crecimiento microbiano, entre ellos: la miel de caña, el aceite de cachaza y el suero de la leche. El uso de residuos agroindustriales como materias primas contribuye a la reducción de los costos de producción y la disminución de la contaminación del medio ambiente (Kumar y col., 2016).

La miel de caña es un residuo de la industria azucarera donde el 60 % de los sólidos presentes está compuesto por azúcares, es considerada como la principal fuente de azúcares fermentables (de Armas y col., 2021).

El aceite de cachaza, se extrae de la cachaza o torta de los filtros, que es un residuo sólido, del proceso final de fabricación de azúcar. El aceite es una fuente de ácidos grasos que, no ha sido objeto de atención a nivel mundial. La cantidad de aceite presente en la cachaza oscila alrededor de 12% del peso y presenta algunas ventajas para su empleo como sustrato, pues su costo es muy bajo, tiene bajo contenido de ácidos grasos libres y presenta una gran disponibilidad en Cuba (Hernández-Durán y col., 2010).

El suero de la leche, es un residuo de la industria lechera y contiene un 70 % de lactosa presente en los sólidos totales. Contiene un 33,63 % base seca de ART, por lo que representa una fuente de carbono apropiada para el crecimiento de microorganismos (Cujilema-Quitio, 2018).

En la provincia Camagüey, Cuba, existen excelentes fuentes de residuos agroindustriales: la industria azucarera, las producciones arroceras en los molinos beneficiadores, la fábrica de cerveza, las producciones lácteas y las nuevas instalaciones avícolas, se estima, que estas últimas producen 6 t diarias de gallinaza. El empleo de los residuos agroindustriales que constituyen materias primas complejas han sido poco investigados en la actualidad (Cujilema-Quitio y col., 2018), se necesita hacer un estudio para identificar el potencial existente y formular variantes para su mejor aprovechamiento.

### ***3.6 Dinámica del oxígeno***

Además del requerimiento de oxígeno por parte de la especie que está siendo cultivada, la comunidad microbiana consume también OD en una proporción significativa. La intensidad del consumo de OD por la comunidad microbiana es una función de la entrada del alimento requerida. Por lo que es esencial que el medio tenga un sistema auxiliar de emergencia para proporcionar oxígeno en caso de la pérdida de la fuente de oxígeno primario (Avnimelech, 2009). Los organismos cultivados en los sistemas biofloc requieren una mayor atención en esta área. La ecuación 1, que describe la demanda de oxígeno de las especies cultivadas, es la de la respiración aeróbica en general:



Esta es la realidad de las especies designadas multicelulares, así como unicelulares, bacterias, hongos, algas, y micro-invertebrados que comprenden una comunidad del biofloc. Las comunidades de biofloc contienen microorganismos fotoautótrofos, quimioautótrofos y heterótrofos. El dominio de uno de ellos depende de la cantidad de carga orgánica que entra en el sistema a través del alimento entrante. A densidades bajas, se requieren poca cantidad de alimento. Esto significa que habrá relativamente menos alimento sin consumir, menos excremento y menos microorganismos en el biofloc.

### ***3.7 Parámetros y condiciones de calidad del agua***

La medición de los parámetros de calidad del agua en cualquier sistema de cultivo acuícola es necesaria para garantizar la aplicación de buenas prácticas de manejo del cultivo que garantice el éxito del mismo. Tal cuestión es además vital en el caso de cultivos con BFT, puesto que, conocidos los registros, el análisis de los mismos permite siempre aplicar correctivos para procurar mantener los parámetros dentro de los rangos de confort de cada especie de pez cultivada. Los parámetros básicos de medición en cultivos biofloc son: oxígeno, temperatura, pH, alcalinidad, amonio y sólidos sedimentables (Emerenciano y col., 2017).

Es conveniente el mantenimiento del oxígeno disuelto cercano a 6 mg/L con

saturaciones mayores del 60%, existe una relación inversa entre el consumo de oxígeno y el peso corporal, así como un efecto positivo de la temperatura del agua sobre la tasa metabólica (Hernández y col., 2019).

El pH y la alcalinidad en sistemas de producción con BFT normalmente permanecen estables en el agua con rangos y valores de 7 a 9 y mayor que 50 mg de CaCO<sub>3</sub>/L respectivamente, existiendo una relación directa entre los procesos de nitrificación y la alcalinidad e inversos en relación con el pH. En este sentido, cuando el pH es alto promueve toxicidad por amonio no ionizado (Crab y col., 2009), sin embargo, una alcalinidad entre 40 - 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub> genera un efecto buffer que disminuye la oscilación del pH. También la temperatura del agua afecta al pH teniendo correlaciones positivas, es decir que a mayor temperatura, mayor pH y mayor amonio tóxico.

El perfil de sólidos en un contenedor con biofloc es sin duda el indicador de calidad más propio del sistema. Diferentes tipos de sólidos existen en un tanque con biofloc, los más comunes y fáciles de determinar y con los cuales se puede administrar el cultivo son los sólidos sedimentables (SS), otros son los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV) (Crab y col., 2009), así como el índice volumétrico de sólidos (SS x 1000 / SST). Teniendo en cuenta la práctica de adición a los cultivos de hidratos de carbono y cal hidratada y que estos en conjunto con las raciones aumentan la concentración de SST, es necesario regularlos y controlarlos, con sedimentadores. El rango deseado para el funcionamiento de sistemas del biofloc es una concentración de sólidos de 10 a 15 mL/L para el camarón.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. El biofloc consiste en una comunidad constituida de microorganismos asociados entre sí en un sustrato suspendido o flotante que responde a una dinámica de malla trófica.
2. El desarrollo del biofloc es afectado por un rango de factores: la temperatura, oxígeno disuelto, el pH, la carga orgánica, la luz y el mezclado.
3. A pesar de su gran valor nutricional, el biofloc como alimento único es insuficiente en garantizar el crecimiento y la supervivencia de las especies, de ahí que se apueste por el biofloc como un suplemento alimenticio.
4. Los sólidos suspendidos son el centro de los problemas de los sistemas basados en biofloc. La tecnología del biofloc se ha situado como una alternativa eficiente para la producción de peces y camarones, pues además de reducir directamente el costo de producción, es ambientalmente amigable porque al tiempo que economiza agua y recicla nutrientes, descarga pocos contaminantes.

#### **REFERENCIAS**

- Avnimelech, Y., *Biofloc Technology: A practical Guide Book.*, 2009, pp. 272-280.  
[https://www.researchgate.net/publication/308052605\\_Biofloc\\_technology\\_A\\_practical\\_guide\\_book\\_The\\_World\\_Aquaculture\\_Society](https://www.researchgate.net/publication/308052605_Biofloc_technology_A_practical_guide_book_The_World_Aquaculture_Society)
- Avnimelech, Y., *Nitrogen Isotope: Tool to Evaluate Protein Uptake in Biofloc Systems.*, Global Aquaculture Alliance, 2012, pp. 74-75.  
<https://www.globalseafood.org/advocate/nitrogen-isotope-evaluating-protein->



[uptake-biofloc-systems/](#)

- Azim, M., & Little, D., The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Aquaculture*, Vol. 283, 2008, pp. 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- Burford, M., Thompson, P., McIntosh, R., Bauman, R., & Pearson, D., The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system., *Aquaculture*, Vol. 232, 2004, pp. 525-537. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00541-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00541-6)
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., & Avnimelech, Y., Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia., *Aquacultural Engineering*, Vol. 40, No. 3, 2009, pp. 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.004>
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W., Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges., *Aquaculture*, Vol. 356-357, No. 1, 2012, pp. 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- Cujilema-Quitio, M., Diseño de un proceso a escala piloto para la producción de lipasas por fermentación sólida., Tesis presentada en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química, en la Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”, Camagüey, Cuba, 2018.
- Cujilema-Quitio, M., León-Revelo, G., Rizo-Porro, M., Taramona-Ruiz, L., & Ramos-Sánchez, L., Producción de lipasas por fermentación sólida con *Aspergillus niger*: influencia del pH., *Centro Azúcar*, Vol. 45, No. 4, 2018, pp. 1-9. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v45n4/caz01418.pdf>
- de Armas, A., González, E., Kafarov, V., Zumalacarregui, L., Oquendo, H., & Ramos, F., Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías., *Revista Universidad y Sociedad*, Vol. 13, No. 5, 2021, pp. 565-573. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202021000500565&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000500565&lng=es&tlng=es)
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., & Verstraete, W., The basics of bioflocs technology: The added value for aquaculture., *Aquaculture*, Vol. 277, 2008, pp. 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>
- Ebeling, J., Timmons, M., & Bisogni, J., Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems., *Aquaculture*, Vol. 257, 2006, pp. 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
- Ekasari, J., Deasy, A., Waluyo, S., Bachtiar, T., Surawidjaja, E., & Bossier, P., The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals., *Aquaculture*, Vol. 426-427, 2014, pp. 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.023>
- Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., & Wasielesky, W., Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis*., *Aquaculture Research*, Vol. 43, No. 3, 2012, pp. 447-457. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x>
- Emerenciano, M., Gaxiola, G., & Cuzon, G., Biofloc technology (BFT) a review for

- aquaculture application and animal food industry, In Matovic, M.D. (Ed.), Chapter 12, Biomass Now-Cultivation and Utilization, 2013, pp. 301-320. <http://dx.doi.org/10.5772/53902>
- Emerenciano, M.G.C., Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A., Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture., In Hlanganani Tutu (Ed.), Chapter 5, Water Quality, Johannesburg, South Africa, 2017, pp. 92-103. <https://doi.org/10.5772/66416>
- FAO., Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020, La sostenibilidad en acción, 2020, pp. 8-27. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Hargreaves, J.A., Biofloc production systems for aquaculture, Special Publications 4503, by the Southern Regional Aquaculture Center Publication from the United States Department of Agriculture, National Institute of Food and Agriculture, 2013, pp. 1-11. [https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac\\_4503\\_biofloc\\_production\\_systems\\_for\\_aquaculture.pdf](https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_4503_biofloc_production_systems_for_aquaculture.pdf)
- Hernández, L., Londoño, J., Hernández, K., & Torres, L., Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola., Rev. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, Vol. 14, No. 1, 2019, pp. 70-99. <http://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>
- Hernández-Durán, Y., Casas-Cardoso, L., Mantell-Serrano, C., Rodríguez-Rodríguez, M., Casdelo-Gutiérrez, N., & Martínez de la Ossa, E., Extracción supercrítica de aceite de cachaza., Centro Azúcar, Vol. 37, No. 1, 2010, pp. 120-128. [http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/407](http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/407)
- Kuhn, D.D., Lawrence, A.L., Boardman, G.D., Patnaik, S., Marsh, L., & Flick Jr., G.J., Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*., Aquaculture, Vol. 303, 2010, pp. 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.001>
- Kumar, V., Roy, S., Kumar-Meena, D., & Uttam-Kumar, S., Application of Probiotics in Shrimp Aquaculture: Importance, Mechanisms of Action, and Methods of Administration., Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, Vol. 24, No. 4, 2016, pp. 342-368. <http://dx.doi.org/10.1080/23308249.2016.1193841>
- Monroy-Dosta, M., De Lara, A., Castro, M., Castro, M., & Emerenciano, C., Composición y abundancia de comunidades microbianas., Revista de Biología Marina y Oceanografía, Vol. 48, No. 3, 2013, pp. 511-520. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572013000300009>
- Ondul, E., & Dizge, N., Glycerol: A major by-product in the biodiesel manufacturing process., Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences, Vol. 19, 2014, pp. 75-79. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/204650>
- Puentes, L., Loredó, N., & Garrigó, L., Estudio de tendencias para el sector pesquero en Cuba., Retos de la Dirección, Vol. 15, No. 1, 2021, pp. 147-165. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2306-91552021000300147](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552021000300147)
- Quan, S., McNutt, J., & Yang, J., Utilization of the residual glycerol from biodiesel production for renewable energy generation., Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 71, 2017, pp. 63-76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.110>
- Ray, A., Seaborn, G., Leffler, J., Wilde, S., Lawson, A., & Browdy, C., Characterization

- of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management., *Aquaculture*, Vol. 310, 2010, pp. 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.10.019>
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E., & Verreth, J., Molasses as C source for heterotrophic bacteria production on solid fish waste., *Aquaculture*, Vol. 261, 2006, pp. 1239-1248. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.053>
- Tacon, A.G., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., & Decamp, O.E., Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets., *Aquacultural Nutrition*, Vol. 8, 2002, pp. 121-137. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x>
- Yao, M., Luo, G., Tan, H., Fan, L., & Meng, H., Performance of feeding Artemia with bioflocs derived from two types of fish solid waste., *Aquaculture and Fisheries*, Vol. 3, 2018, pp. 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.07.002>

### **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

### **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Ing. Linet Gálvez-Cantero. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- Dra.C. María Caridad Julián-Ricardo. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- Dr.C. Luis Beltrán Ramos-Sánchez. Dirigió la investigación.