

## Inclusión de harina de biofloc en dietas para acuicultura: una revisión

### Inclusion of biofloc meal in aquaculture diets: a review

### *Inclusão de farelo de biofloc em dietas para aquicultura: uma revisão*

Natalia Alvarez-Perdomo<sup>1</sup> 

Carlos A. David-Ruales<sup>2</sup> 

Luis F. Collazos-Lasso<sup>3</sup> 

#### Artículo de revisión

Recibido: 12 de abril de 2023

Aceptado: 11 de diciembre de 2023

Publicado: 16 de Diciembre de 2023

- 1 Biol. Estudiante, Maestría en Acuicultura. Instituto de Acuicultura y Pesca de los Llanos IALL. Grupo de investigación Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Universidad de los Llanos. Email: [natalia.alvarez@unillanos.edu.co](mailto:natalia.alvarez@unillanos.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9128-4015>
- 2 Biol. Esp. MSc. PhD. Docente investigador y director del grupo GIPDTA de la Corporación Universitaria Lasallista. Email: [cadavid@lasallistadocentes.edu.co](mailto:cadavid@lasallistadocentes.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3071-9919>
- 3 Ing. Prod. Acuícola. MSc, PhD. Docente, Instituto de Acuicultura y Pesca de los Llanos IALL. Grupo de investigación Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Universidad de los Llanos. Email: [lcollazos@unillanos.edu.co](mailto:lcollazos@unillanos.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6034-0037>

## RESUMEN

El impacto ambiental que ha generado la industria acuícola se encuentra relacionado con la contaminación del agua producto de la excreción de los organismos cultivados, alimentos no consumidos, heces, nutrientes, compuestos orgánicos e inorgánicos, condiciones relacionadas directamente con el tipo de cultivo, tradicionalmente los sistemas de estanques en tierra. Por otra parte, la industria enfrenta una dificultad relacionada con la necesidad de alimentos de calidad. El sistema de cultivo biofloc (TBF) se considera una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente, ya que requiere un recambio mínimo de agua y los nutrientes son reciclados por los microorganismos que allí habitan. Este sistema genera una alta acumulación de biomasa microbiana que debe ser removida, esta ha sido materia de investigación como un ingrediente alternativo en la industria ya que se ha demostrado sus considerables proporciones de proteína bruta y lípidos. La harina de biofloc se ha propuesto como una fuente alternativa de proteína para reemplazar la harina y el aceite de pescado tradicionales, la harina de soya, entre otros. Esta revisión brinda información sobre el conocimiento actual de los componentes nutricionales, métodos de obtención, inclusión

**Como Citar (Norma Vancouver):** Alvarez-Perdomo N, David-Ruales CA, Collazos-Lasso LF. Inclusión de harina de biofloc en dietas para acuicultura: una revisión. *Orinoquia*, 2023;27(2): e-805 <https://doi.org/10.22579/20112629.805>

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

 OPEN ACCESS



en la dieta de los organismos acuáticos, su aplicación en la economía circular y una perspectiva sobre su uso en las dietas de las especies nativas.

**Palabras clave:** alimentación, economía circular, nutrición

## ABSTRACT

The environmental impact generated by the aquaculture industry is related to water contamination resulting from the excretion of cultivated organisms, uneaten food, feces, nutrients, organic and inorganic compounds, and conditions directly related to the type of culture, traditionally land pond systems. On the other hand, the industry faces difficulties related to the need for high-quality food. The bio-floc culture system (BFT) is considered a sustainable and environmentally friendly alternative because it requires a minimum exchange of water, and nutrients are recycled by the microorganisms that live there. This system generates a high accumulation of microbial biomass that must be removed. It has been the subject of research as an alternative ingredient in industry because of its considerable proportions of crude protein and lipids have been demonstrated. Biofloc meal has been proposed as an alternative protein source to replace traditional fishmeal, oil, and soybean meal, among others. This review provides information on the current knowledge of nutritional components, methods of obtaining them, their inclusion in the diet of aquatic organisms, their application in the circular economy, and their use in the diets of native species.

**Key words:** circular economy, food, nutrition

## RESUMO

O impacto ambiental gerado pela indústria da aquicultura está relacionado à contaminação da água decorrente da excreção de organismos cultivados, restos de comida, fezes, nutrientes, compostos orgânicos e inorgânicos, condições diretamente relacionadas ao tipo de cultivo, tradicionalmente os sistemas de lagoas terrestres. Por outro lado, a indústria enfrenta uma dificuldade relacionada à necessidade de alimentos de qualidade. O sistema de cultivo de bioflocos (SCB) é considerado uma alternativa sustentável e ecologicamente correta, pois requer uma troca mínima de água e os nutrientes são reciclados pelos microrganismos que ali vivem. Este sistema gera um alto acúmulo de biomassa microbiana que deve ser removida, o que tem sido objeto de pesquisas como ingrediente alternativo na indústria, já que foram demonstradas suas proporções consideráveis de proteína bruta e lipídios. O farelo de bioflocos tem sido proposto como uma fonte alternativa de proteína para substituir a farinha e óleo de peixe tradicional, farelo de soja, entre outros. Esta revisão fornece informações sobre o conhecimento atual dos componentes nutricionais, métodos de obtenção, sua inclusão na dieta de organismos aquáticos, sua aplicação na economia circular e uma perspectiva sobre seu uso na dieta de espécies nativas.

**Palavras-chave:** alimentação, economia circular, nutrição

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura y la pesca han sido reconocidos como fuentes que contribuyen a la seguridad alimenticia y nutrición mundial, se estima que la producción para el año 2020 fue de 178 millones de toneladas, donde la acuicultura fue responsable del 49% (FAO, 2022). Además, la acuicultura global mantuvo la tendencia de crecimiento a pesar de la pandemia por COVID-19.

La producción acuícola usualmente involucra el suministro de alimento formulado; en los sistemas de producción extensiva la productividad natural de los estanques puede suplir en parte la demanda alimenticia, sin embargo, a medida que la producción se intensifica se requiere una adición mayor de alimento de alta calidad, manufacturado especialmente para la especie de cultivo y su estado de desarrollo (Davis, 2015). Se estima que para el 2025 la producción de alimento concentrado sea de 87,1 millones de toneladas (Tacon y Metian, 2015).

Tradicionalmente harina y aceite de pescado han sido los más utilizados ya que se consideran como los ingredientes más nutritivos y digeribles para los peces de cultivo (FAO, 2020). Con el crecimiento de la acuicultura, la demanda de estos ingredientes ha aumentado (Péron *et al.*, 2010), según la FAO (2022) para el 2020 el 20% de la pesca de captura corresponde a la producción de harina y aceite de pescado.

Ahora bien, el incremento en la demanda de estos ingredientes tradicionales, no solo para la creciente industria acuícola, además de su uso para las otras líneas productivas incluyendo las mascotas, aumenta la preocupación en la sostenibilidad de los recursos, por el impacto en los ecosistemas acuáticos. Una variedad de plantas como soya, maíz y la canola, así también como subproductos de origen animal como la harina de carne, hueso y sangre, entre otros, están siendo utilizadas como fuentes proteicas alternativas en la formulación de dietas, sin embargo, existen gran variedad de

limitación relacionadas en parte con los factores anti nutricionales y, principalmente por su disponibilidad (Davis, 2015).

La necesidad de encontrar fuentes de proteína que cumplan los criterios nutricionales adecuados que incluyen digestibilidad, que no impida el crecimiento o deteriore la salud de los organismos, la palatabilidad, que sea escalable a niveles comerciales, estable físicamente, de fácil manejo y almacenamiento y que crucialmente tenga un menor impacto en el medio ambiente (Boyd *et al.*, 2020; Nates, 2015); es una de las mayores preocupaciones en la industria, constituyendo una línea de investigación en constante crecimiento.

La harina de biofloc ha sido propuesta como un ingrediente potencial para reemplazar los tradicionales harina y aceite de pescado, harina de soya, entre otros. En ese sentido, la presente revisión provee información sobre el conocimiento actual de los componentes nutricionales, métodos de obtención, inclusión en la dieta de organismos acuáticos, la aplicación en la economía circular y una perspectiva de su uso en la dieta de especies nativas.

### *Componentes nutricionales de la harina de biofloc*

Existen una gran variedad de factores que afectan los valores nutricionales de la harina de biofloc, ya que este es una comunidad heterogénea de microorganismos, algas, bacterias, protozoos, además de zooplancton y nemátodos, asociados en un sustrato que se encuentra en suspensión y que implica para su formación y mantenimiento variadas fuentes de energía.

Al respecto, se ha demostrado que la fuente carbono utilizada tiene un efecto sobre los factores nutricionales del biofloc. Wang *et al.* (2016) investigó el uso de melaza, harina de maíz y salvado de trigo para el desarrollo de biofloc en diferentes proporciones manteniendo una concentración C : N de 16, encontrando que que la fuente de carbono incide sobre el nivel de proteína, con variaciones entre



23.95 a 32.32% y, de lípidos (2.92 a 5.33%), sin embargo no encontraron diferencias significativas en el contenido de cenizas. Wei *et al.* (2016) suplementó tres tipos de biofloc con glucosa, almidón y glicerol manteniendo una concentración C:N de 15, los autores encontraron diferencias significativas en los niveles de proteína en relación a la fuente, que variaron entre 31.5% usando almidón, 35.5% con glicerol y 41.2% utilizando glucosa; para la proporción de lípidos, los valores registrados estuvieron entre 4.2% usando glicerol hasta 8.5 con almidón. Ekasari *et al.* (2010) experimentó previamente con glucosa y glicerol como fuente de carbono manteniendo una concentración C:N de 10, mostrando igualmente variaciones en la proteína entre 28 a 33% y en lípidos con valores entre 6 y 9%, sin embargo, concluyen que la fuente de carbono bajo las variables manejadas no afectan el contenido de proteína y lípidos en biofloc.

Los anteriores estudios soportan que la fuente de carbono que se use para desarrollar el sistema biofloc puede de manera directa o indirecta influir las propiedades nutricionales, por otro lado, Martínez-Porchas *et al.* (2020) encontró que un sistema TBF de tipo heterótrofo presenta mayor proteína (46.7%), comparado con un sistema autótrofo (19.9%).

La Tabla 1. Composición proximal de la harina de biofloc usada en estudios de inclusión en la dieta de organismos acuáticos, describe los trabajos que se han realizado, con la inclusión de harina de biofloc, las fuentes de carbono más utilizadas, la relación C:N y el sistema de cultivo; de manera general, en cultivos tradicionales, los trabajos dónde la fuente de carbono fue melaza, la proteína bruta varió entre 16.48% (15:1 C:N) (Ekasari, Suprayudi, *et al.*, 2019) y 47.94% (12:1 C:N) (Promthale *et al.*, 2019), mientras que la harina de trigo varió entre 22.42% (10:1 C:N) (Jeđrejek *et al.*, 2016) y 43.9% (6:1 C:N) (Lunda *et al.*, 2020).

En las investigaciones donde el sistema de cultivo no fue convencional sino reactores discontinuos secuenciales (por sus siglas en inglés SBR),

reactores biológicos de membrana (por sus siglas en inglés MBR) y sistemas de depuración biológica por lodos activados, las fuentes de carbono varían entre melaza, sacarosa y residuos de harina de trigo, el contenido de proteína varió entre 9.59% (Neto *et al.*, 2015) y 49% (Kuhn *et al.*, 2009).

### Obtención de harina de biofloc

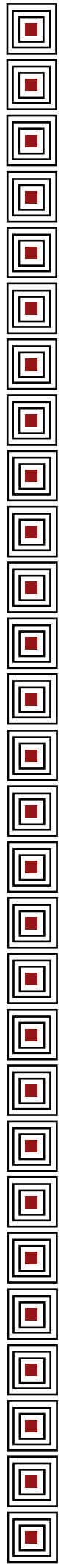
El sistema TBF se basa en el crecimiento de microorganismos y un recambio de agua mínimo. Los nutrientes pueden ser reciclados constantemente, ser utilizados por los microorganismos y reutilizados como proteínas de una sola célula. Estos microorganismos usan, reciclan y transforman los excesos de nutrientes de las heces, organismos muertos, alimento no consumido, entre otros, en biomasa que puede ser consumida por los organismos cultivados (Ruby *et al.*, 2017). Este sistema, al ser super intensivo, genera una acumulación de sólidos que deben ser removidos para no afectar la estabilidad del sistema, es a partir de ese exceso que se genera la harina aprovechable.

Basado en lo anterior, para la obtención de harina de biofloc y posterior uso en la formulación de dietas para otras especies, los cultivos más utilizados son los de tilapias nilótica (*Oreochromis niloticus*) y mejorada genéticamente (GIFT) y camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Existen además otras fuentes para la obtención de harina de biofloc, como es el caso del uso de reactores de diferente tipo, reportado por varios autores ((Ahuja *et al.*, 2014); Kuhn *et al.*, 2009, 2010 & 2016; Van Den Hende *et al.*, 2016).

VanDenHende *et al.* (2016) indica que los reactores discontinuos secuenciales (SBR por sus siglas en inglés), que tratan aeróbicamente aguas de desecho, provenientes de un cultivo de lucio perca (*Sander lucioperca*), originan excesos de biomasa que pueden originar ingredientes para ser incluidos en dietas y mantener de paso al reactor en crecimiento exponencial, volviendo el proceso más eficiente.

**Tabla 1.** Composición proximal de la harina de biofloc usada en estudios de inclusión en la dieta de organismos acuáticos

Especie cultivada para la obtención de la harina	Método	Fuente carbono	C : N	Energía (kJ/g)	Proteína bruta (g/100g)	Cenizas (g/100g)	Grasa cruda (g/100g)	Fibra cruda (g/100g)	Referencia
<i>L. vannamei</i>	Cultivo	--	--	0.071 - 0.070	36.88 - 36.72	14.79 - 15.43	5.91 - 5.97	--	(Ju et al., 2008)
<i>O. niloticus</i>	Cultivo	Harina de trigo	8.4 y 11.2	19.6 - 19.1	35.13 - 23.88	5.23 - 3.83	6.23 - 6.64	2.63 - 2.13	(Azim y Little, 2008)
<i>O. niloticus</i>	SBR	Sacarosa	--	--	49	13.4	1.13	12.6	(Kuhn et al., 2009)
<i>O. niloticus</i>	SBR y MBRs	Sacarosa	--	--	38.8 - 40.5	34.7 - 11.8	<0.1	16.2 - 15.3	(Kuhn et al., 2010)
<i>Forfantepenaeus paulensis</i>	Cultivo	Melaza y salvado de trigo	20:1	--	30.4	39.21	4.7	8.3	(Bailester et al., 2010)
<i>L. vannamei</i>	Cultivo	--	--	--	23.39	36.6	0.3	--	(Bauer et al., 2012)
<i>L. vannamei</i>	Cultivo	--	--	12.6	24.7	36.6	0.4	--	(Dantas et al., 2014)
<i>L. vannamei</i>	Depuración biológica por lodos activados	Melaza	--	--	9.59 - 13.73	64.9 - 59.1	0.72 - 0.91	< 5	(Neto et al., 2015)
--	SBR	--	--	--	38.3	31.6	0.42	16.6	(Kuhn et al., 2016)
--	Cultivo	--	--	--	16.61	46.21	0.83	0.45	(Himaja et al., 2016)
<i>Sander lucioperca</i>	SBR	--	--	9.32 - 8.22 - 5.09	27.7 - 24.9 - 15.8	50.3 - 55.8 - 70.2	4.4 - 3.9 - 2.64	--	(Van Den Hende et al., 2016)
<i>L. vannamei</i>	Cultivo	Melaza	15:1	--	28.7	43	2.3	--	(Lee et al., 2017)
<i>O. niloticus</i>	Cultivo	--	--	--	24	17	--	--	(Gamboia-Delgado et al., 2017)
--	Cultivo	--	--	--	29.2	--	0.4	--	(Shao et al., 2017)
--	Cultivo	--	--	7.79	17.92	51.28	0.41	0.15	(Prabu et al., 2017)
<i>L. vannamei</i>	Cultivo	Torta de semilla de té	15:1	11.49	13.5	47.52	0.42	3.672	(Ruby et al., 2017)
Bagre africano	Cultivo	--	--	15.71	9.11	3.95	8.7	19.07	(Ekasari et al., 2018)
<i>O. niloticus</i>	Cultivo	--	--	--	17.9	51.28	0.41	--	(Prabu et al., 2018)
<i>O. niloticus</i>	Cultivo	Almidón	10:1	392.4	24.5	16	5	--	(Mabroke et al., 2018)
--	Cultivo	Harina de trigo	10:1	--	22.42	25.13	3.01	3.72	(Jędrejek et al., 2016)
Bagre africano	Cultivo	Melaza	15:1	--	16.48	11.16	3.35	16.92	(Ekasari et al., 2019b)
<i>Penaeus monodon</i>	Cultivo	Melaza	12:1	--	47.94	1.41	5.02	5.73	(Promthale et al., 2019)
<i>Clarias gariepinus</i>	Cultivo	Melaza y harina de tapioca	15:1	--	33.8 - 18.1	9.4 - 3.4	2.4 - 9.9	3.8 - 0.6	(Ekasari et al., 2019a)
<i>O. niloticus</i>	Cultivo	Harina de trigo	6:1	14.11	43.9	16.4	4.5	4.9	(Lunda et al., 2020)
<i>Oreochromis sp</i>	Cultivo	Melaza	20:1	236.51	30.26	30.59	0.4	4.44	(Cala Delgado et al., 2020)
<i>Oreochromis sp y L. vannamei</i>	Cultivo	Melaza	15:1	0.99 - 1.01 y 1.94 - 1.11	13.5 - 12.12 y 24.09 - 20.52	61.01 - 60.63 y 42.45 - 44.63	0.35 - 0.92 y 0.4 - 0.56	7.43 - 7.74 y 16.61 - 17.11	(Binalshikh-Abubkr et al., 2021)
<i>Lates calcarifer</i>	Activated sludge system	Residuos de harina de trigo	--	--	40	10.51	7.85	--	(Nayak et al., 2023)



Adicionalmente, Neto et al. (2015), utilizaron un proceso denominado depuración biológica por lodos activados en aguas residuales de un cultivo experimental de camarones (*L. vannamei*), para obtener harina de biofloc y compararla con un sistema utilizando agua limpia de mar. De esta manera, evaluaron la digestibilidad del biofloc producido en ambos sistemas al incorporarlo en una dieta de referencia en juveniles de *L. vannamei*, obteniendo como resultado que la inclusión de la harina de biofloc presentó digestibilidades de entre 25.7 y 26%, los autores concluyen que la adición de dicha harina parece promover el crecimiento en los camarones, posiblemente asociado a minerales traza.

Respecto a la obtención del biofloc, algunos autores no especifican la manera en que colectan, sin embargo el método más frecuente es el tamizado con diferentes aberturas de malla que varía desde las 10  $\mu\text{m}$  (Cala et al., 2020; Dantas et al., 2014) hasta las 250  $\mu\text{m}$  (Dantas et al., 2014; Van Den Hende et al., 2016).

En de la obtención de la harina de biofloc, el proceso de secado es uno de los más importantes ya que la técnica que se utilice puede tener un efecto sobre el valor nutricional de la misma (Binalshikh-Abubkr et al., 2021). Este puede variar desde el secado al sol (Bauer et al., 2012; Mabroke et al., 2018; Prabu et al., 2017, 2018; Ruby et al., 2017), siendo considerado uno de los métodos más tradicionales y económicos, sin embargo el material es susceptible a contaminación (Janjai y Bala, 2012), el secado al "aire", empleado por autores como Cala Delgado et al., 2020; Dantas et al., 2014; Kuhn et al., 2009, 2010, 2016; Ruby et al., 2017 "ISSN": "004 48486", abstract: "Microbial flocs produced in suspended growth bioreactors could offer the shrimp industry a novel alternative feed. In this study, microbial flocs were produced in sequencing batch

reactors (SBRs, donde el material no es puesto directamente al sol y puede tomar más tiempo.

Otro proceso incluye el secado en el horno, el cual permite un control específico de la temperatura y tiempo, se encuentran reportes de temperatura desde 40°C (Binalshikh-Abubkr et al., 2021; Ekasari, Kemala Pasha, et al., 2018; Promthale et al., 2019) hasta los 105°C (Van Den Hende et al., 2016), sin embargo no se ha establecido de manera comparativa la temperatura y tiempo adecuado para el secado de biofloc o los posibles efectos sobre los aspectos nutricionales.

Por último, la liofilización o criodesecación es una técnica de secado que favorece la preservación de compuestos termosensibles ya que no utiliza calor, al respecto, Binalshikh-Abubkr et al. (2021) comparó este método con el secado al horno a 40°C, avaluando la composición proximal del biofloc, encontrado que la liofilización mantiene la calidad nutricional más eficientemente. Ju et al. (2008) utilizaron este método con el objetivo de investigar los compuestos bioactivos en el biofloc; Lee et al., (2017) congeló biofloc a -80°C para posteriormente liofilizarlo con el propósito de evaluar el efecto de la suplementación en el crecimiento, respuesta inmune no específica y susceptibilidad a infecciones bacterianas en *L. vannamei*. La Tabla 2. Fuentes, métodos de obtención y secado del biofloc resume los hallazgos.

### Harina de biofloc en la dieta de especies de cultivo

Existen varias especies sobre las cuales se han realizado trabajos de inclusión de harina de biofloc en sus dietas, principalmente en el camarón blanco (*L. vannamei*) y en tilapia del Nilo (*O. niloticus*), entendiéndolo su hábito alimenticio e importancia económica relacionada con su producción mundial.

**Tabla 2. Fuentes, métodos de obtención y secado del biofloc**

Fuente del biofloc	Especie cultivada para la obtención	Método de obtención	Método de secado	Referencia
Cultivo	<i>L. vannamei</i>	Tamizado no específico	Liofilizado	(Ju et al., 2008)
Cultivo	<i>O. niloticus</i>	Decantado	Horno 102°C	(Azim y Little, 2008)
SBR	<i>O. niloticus</i>	Sifoneo	Aire	(Kuhn et al., 2009)
SBR y MBRs	<i>O. niloticus</i>	--	Aire	(Kuhn et al., 2010)
Cultivo	<i>Farfantepenaeus paulensis</i>	Tamizado 30 µm	--	(Ballester et al., 2010)
Cultivo	<i>L. vannamei</i>	Sifoneo	Sol	(Bauer et al., 2012)
Cultivo	<i>L. vannamei</i>	Tamizado 250, 50 y 10 µm	Aire	(Dantas et al., 2014)
Depuración biológica por lodos activados	<i>L. vannamei</i>	Decantado - tamizado 20 µm	Horno 45°C	(Neto et al., 2015)
Cultivo	--	Tamizado no específico	Sombra y horno 45°C	(Himaja et al., 2016)
SBR	<i>Sander lucioperca</i>	Tamizado 150-250 µm	Horno 105°C	(Van Den Hendt et al., 2016)
SBR	--	--	Aire	(Kuhn et al., 2016)
Cultivo	<i>L. vannamei</i>	--	Liofilizado	(Lee et al., 2017)
Cultivo	<i>O. niloticus</i>	--	--	(Gamboa-Delgado et al., 2017)
Cultivo	--	--	Sol	(Prabu et al., 2017)
Cultivo	<i>L. vannamei</i>	Decantador	Sombra y sol	(Ruby et al., 2017)
Cultivo	Bagre africano	Tamizado 200 µm	Horno 40°C	(Ekasari, Pasha, et al., 2018)
Cultivo	Tilapia GIFT	Tamizado 100 µm	Sol	(Prabu et al., 2018)
Cultivo	<i>O. niloticus</i>	Tamizado 45 µm	Sol	(Mabroke et al., 2018)
Cultivo	--	Tamizado 10 µm	Aire	(Jędrejek et al., 2016)
Cultivo	Bagre africano	--	Horno 50°C	(Ekasari et al., 2019a)
Cultivo	<i>Penaeus monodon</i>	--	Horno 40°C	(Promthale et al., 2019)
Cultivo	<i>Clarias gariepinus</i>	Tamizado 100 µm	Horno 60°C	(Ekasari et al., 2019b)
Cultivo	<i>O. niloticus</i>	Tamizado 60 µm	Horno 80°C	(Lunda et al., 2020)
Cultivo	<i>Oreochromis sp</i>	Tamizado 10 µm	Aire	(Cala Delgado et al., 2020)
Cultivo	<i>Oreochromis sp</i> y <i>L. vannamei</i>	Tamizado 20, 30 y 40 µm	Liofilizado y horno 40°C	(Binalshikh-Abubkr et al., 2021)
Depuración biológica por lodos activados	<i>Lates calcarifer</i>	Decantador	Horno 65°C	(Nayak et al., 2023)

**Peces**

La tilapia es la tercera especie de pez producida a nivel mundial, alcanzado para 2020 las 4407.2 millones de toneladas en aguas continentales y 107.4 millones de toneladas en área costera (FAO, 2022); la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) es la especie de pez con más reportes de inclusión de harina de biofloc en su dieta (Tabla 3. Especie, estado de desarrollo, sistema de cultivo y porcentaje de inclusión de harina de biofloc), todos en etapa juvenil. Los niveles de inclusión varían entre el 16 y el 50%; al respecto, varios autores (Mabroke et al., 2018; Zedan et al., 2017), indican que el reemplazo de harina de soya por harina de biofloc en un 16%, no presenta efectos negativos sobre el crecimiento de esta

especie; resultados con niveles del 20% de inclusión, (Cala Delgado et al., 2020; Prabu et al., 2017, 2018) también concuerdan con esos resultados. Caldini et al., (2015) compararon los efectos de la suplementación con biofloc seco y húmedo a 25 y 50% de inclusión en dietas comerciales en un sistema de producción con recirculación (RAS), indicando que la suplementación con biofloc húmedo soporta un mayor crecimiento corporal que el seco. Sin embargo, estos ensayos se han realizado en escala de laboratorio y no se encontraron reportes en condiciones de cultivo comercial.

En *Cyprinus carpio* que es la cuarta especie de pez de agua dulce más cultivada con 4236.3 millones de toneladas para 2020 (FAO, 2022). Ekasari et al.





(2018) evaluaron la inclusión de harina de biofloc en un 30%, encontrando respuestas similares cuando comparadas con la dieta control.

*Catla catla* es la quinta especie de pez de agua dulce más cultivada con 3540.3 millones de toneladas para 2020 (FAO, 2022); en esta especie se han evaluado niveles de inclusión del 20 al 40%, indicando que las proporciones del 20 y del 30%, son las de mejores resultados (Himaja *et al.*, 2016).

*Lates calcarifer* es la decimocuarta especie de pez de agua marina o costero más cultivado con 105.8 miles de toneladas para 2020 (FAO, 2022). En esta especie de hábitos carnívoros y de alto valor comercial, se evaluó la inclusión del 20% de harina de biofloc, indicando menor tasa de crecimiento que la dieta control, pero con mejor respuesta inmune; los autores indican además, la importancia de probar estas fuentes alternativas en especies con mayores requerimientos proteicos (Nayak *et al.*, 2023).

Las especies del género *Clarias* son las décimas de agua dulce más cultivadas a nivel mundial con 1249 millones de toneladas para 2020 (FAO, 2022), entre las que se encuentra el bagre africano *C. gariepinus*; en esta especie se evaluó la inclusión de harina de biofloc en 5, 10 y 20%, indicando que la inclusión hasta el 20% puede mejorar el crecimiento y la salud de los juveniles (Ekasari, Setiawati, *et al.*, 2019).

Es importante mencionar que no existen trabajos que reporten el uso de harina de biofloc como ingrediente o como aditivo en la formulación para dietas de especies nativas del neotrópico.

### Crustáceos

La principal especie utilizada en ensayos de inclusión de harina de biofloc es el camarón blanco del Pacífico *L. vannamei* (Tabla 3. Especie, estado de desarrollo, sistema de cultivo y porcentaje de inclusión de harina de biofloc), tanto en estadios

poslarvares como juveniles; esta especie fue la más producida para 2020 con un aproximado de 5812.2 millones de toneladas (FAO, 2022). La dieta comercial incluye principal y tradicionalmente harina de pescado, aunque también es posible la inclusión de harina de soya, trigo, aceite de pescado, lecitina y colesterol; los requerimientos proteicos varían entre el 32 al 36%, sin embargo algunos productores de variedades "premium" incluyen dietas con niveles más altos entre 42 al 43%, para la etapa de iniciación niveles entre el 38 al 41% (Nates, 2015), con estos valores de referencia, los estudios de inclusión de harina de biofloc buscan la reducción de las fuentes proteicas tradicionales, sin detrimento de la productividad y buscando la sostenibilidad de los cultivos.

De esta manera, Dantas *et al.* (2014) determinó que un reemplazo del 20% de harina de pescado por biofloc podría mejorar el crecimiento de poslarvas de camarón en sistema RAS. Neto *et al.*, (2015), en la misma etapa y sistema de producción, encontró que la harina de biofloc en un 30% inclusión, parece tener un efecto de promoción de crecimiento posiblemente asociado con los minerales traza. Kuhn *et al.*, (2009, 2010, 2016) concuerdan que la harina de biofloc puede ser usada con éxito en diferentes niveles de inclusión sin presentar diferencias significativas con el control, en parámetros como el crecimiento, conversión alimenticia y supervivencia bajo condiciones de cultivo RAS y en etapa poslarval.

En individuos en etapa juvenil, Bauer *et al.*, (2012) indican que los principales parámetros zootécnicos no fueron significativamente diferentes entre los niveles de inclusión de 3.5 - 7 - 10.5 y 14%, sugiriendo que la harina de pescado puede ser reemplazada sin presentar efectos adversos. De manera similar, Shao *et al.* (2017) con un nivel de inclusión del 6% concluye que no se presentan diferencias significativas o efectos negativos en el crecimiento, además de las enzimas digestivas y la vía de señalización de la diana de la rapamicina, concluyendo que la harina de biofloc puede ser



un ingrediente sostenible en la alimentación de la especie. En contraste, Gamboa-Delgado *et al.*, (2017) utilizando niveles de inclusión más elevados (20.49 - 40.7 - 61.2 y 84.3%) encontraron diferencias significativas en el peso final y una correlación negativa entre la inclusión de la harina y el aumento de peso, argumentando que el alto contenido de ceniza del biofloc puede ser un factor que contribuya al menor crecimiento de animales alimentados con estos niveles de inclusión.

Lee *et al.* (2017) determinó que en un nivel de inclusión del 4% aumentó significativamente la resistencia a enfermedades como las causadas por *Vibrio harveyi*, sugiriendo que podría usarse como suplemento dietético para mejorar el crecimiento, la inmunidad innata y la resistencia a enfermedades. (Van Den Hende *et al.*, 2016). mediante la adición de relativamente bajas concentraciones de harina de biofloc en la dieta resultó en un aumento significativo en la pigmentación, sin afectar la supervivencia, ganancia de peso, tasa de conversión alimenticia, además de la composición proximal y el perfil de ácidos grasos en muestras de músculo del camarón crudo.

En otra especie de decápodo, el cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) que es la segunda especie de crustáceo más producida a nivel mundial, alcanzando para 2020 las 2469 toneladas (FAO, 2022). En comparación con los camarones de la familia Penaeidae, la investigación de aspectos nutricionales es muy limitada, razón por la cual Lunda *et al.* (2020) buscó, entre otros, evaluar la respuesta de juveniles del cangrejo a la inclusión de harina de biofloc en su dieta en términos de nutrición, crecimiento y supervivencia, encontrando que la harina puede elevar el crecimiento en una inclusión de 33 - 66% sobre dietas comerciales. Sin embargo, más allá del 66% puede deteriorar el crecimiento debido al alto contenido de cenizas, deficiencia en arginina y una proporción insuficiente de energía no proteica.

El langostino jumbo o tigre (*Penaeus monodon*) es la cuarta especie de crustáceo con mayor producción a nivel mundial, alcanzando 717.1 miles de toneladas para 2020 (FAO, 2022). En juveniles de esta especie se evaluaron cuatro niveles de inclusión y sus efectos sobre el crecimiento, supervivencia y respuesta inmune, demostrando que el biofloc presenta suficientes constituyentes nutricionales vitales para el crecimiento de los individuos, obteniendo los mejores resultados con inclusión entre el 25 y 50%, concluyendo que la harina puede proveer una alternativa prometedora de proteína a la harina de pescado, mejorando la actividad y respuesta inmune para prevenir infecciones por *Vibrio parahaemolyticus* (Promthale *et al.*, 2019).

### Otros animales acuáticos

El pepino de mar japonés, *Apostichopus japonicus*, es una especie que alcanzó para el 2020 una producción de 201.5 miles de toneladas (FAO, 2022), su demanda ha incrementado en los últimos años y la industria se ha desarrollado rápidamente gracias a la mejora en las técnicas de cultivo y reproducción. La alimentación es un factor clave ya que es una especie de hábitos bentónicos que consume detritus, microorganismos y excremento de otros animales. La suplementación con harina de biofloc ha sido evaluada por Chen *et al.* (2018) con el objetivo de investigar los efectos en el crecimiento, actividad enzimática digestiva, estrés fisiológico, estado antioxidante y respuesta inmune, su cultivo presenta desafíos asociados a problemas sanitarios y a la restricción en el uso de antibióticos y sustancias químicas para su tratamiento. Los autores concluyeron que la suplementación con harina de biofloc puede mejorar el rendimiento de crecimiento, argumentan, además, que éste no es solo una fuente de suplementación nutricional, sino que también provee bacterias probióticas y compuestos bioactivos que se consideran cruciales para estimular la respuesta inmune.



**Tabla 3. Especie, estado de desarrollo, sistema de cultivo y porcentaje de inclusión de harina de biofloc**

Especie objetivo	Estado de desarrollo	Sistema de cultivo	% de inclusión	Referencia
<i>L. vannamei</i>	Juveniles	RAS	20	(Ju et al., 2008)
<i>L. vannamei</i>	Poslarvas	RAS	7.8 - 15.6	(Kuhn et al., 2009)
<i>L. vannamei</i>	Poslarvas	RAS	10 - 15 - 20 - 30	(Kuhn et al., 2010)
<i>L. vannamei</i>	Juveniles	RAS	3.5 - 7 - 10.5 - 14	(Bauer et al., 2012)
<i>L. vannamei</i>	Poslarvas	RAS	7.5 - 15 - 30	(Dantas et al., 2014)
<i>L. vannamei</i>	Poslarvas	RAS	30	(Neto et al., 2015)
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	RAS	25 - 50	(Caldini et al., 2015)
<i>L. vannamei</i>	Poslarvas	RAS	10 - 20 - 30	(Kuhn et al., 2016)
<i>C. catla</i>	Juveniles	Tanques aislados	20 - 30 - 40	(Himaja et al., 2016)
<i>L. vannamei</i>	Juveniles	RAS - Híbrido biofloc	2 - 4 - 6 - 8	(Van Den Henden et al., 2016)
<i>L. vannamei</i>	Juveniles	Tanques aislados	0.5 - 1 - 2 - 4 - 6 - 8	(Lee et al., 2017)
<i>L. vannamei</i>	Juveniles	Tanques aislados	20.49 - 40.7 - 61.2 - 84.3	(Gamboa-Delgado et al., 2017)
<i>L. vannamei</i>	Juveniles	RAS	6	(Shao et al., 2017)
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	Tanques aislados	20	(Prabu et al., 2017)
<i>L. vannamei</i>	Poslarvas	Tanques aislados	20 - 30 - 40 - 50	(Ruby et al., 2017)
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	Tanques aislados	16 - 32	(Zedan et al., 2017)
<i>O. niloticus</i> - <i>C. carpio</i>	Juveniles	Tanques aislados	30	(Ekasari, Pasha, et al., 2018)
Tilapia GIFT	Juveniles	Tanques aislados	20 - 30 - 40	(Prabu et al., 2018)
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	Biofloc	16 - 32	(Mabroke et al., 2018)
<i>A. japonicus</i>	Juveniles	RAS	5 - 10 - 20 - 30 - 45	(Jędrejek et al., 2016)
<i>P. monodon</i>	Juveniles	Tanques aislados	15 - 30 - 45 - 60	(Promthale et al., 2019)
<i>C. gariepinus</i>	Juveniles	Tanques aislados	5 - 10 - 20	(Ekasari, 2019b)
<i>P. clarkii</i>	Juveniles	Tanques aislados	33 - 66 - 100	(Lunda et al., 2020)
<i>Oreochromis sp</i>	Juveniles	Biofloc	20,2	(Cala Delgado et al., 2020)
<i>L. calcarifer</i>	Juveniles	RAS	20	(Nayak et al., 2023)

### Harina de biofloc y economía circular

El crecimiento de la población trae consigo un aumento en la demanda de alimentos, lo que presiona los ecosistemas acuáticos y terrestres, es por esto que es necesario adoptar un enfoque de producción que cause el menor impacto posible (Regueiro et al., 2021).

Así también, el crecimiento de la industria acuícola ha traído además un aumento en el impacto ambiental, los procesos de producción generan aguas contaminadas con alimentos no consumidos y heces, los nutrientes, compuestos orgánicos e inorgánicos, materia orgánica, entre otros, deterioran los ambientes acuáticos y pueden aumentar la incidencia de microorganismos patógenos, afectando los sistemas naturales (Avnimelech, 2009).

Según la FAO (2022) es necesario tomar acciones que contribuyan a mitigar el cambio climático y que a la vez se promueva la adaptación de la industria pesquera y acuicultura en líneas de desarrollo que contribuyan a la así llamada "Transformación Azul".

La transformación azul es un objetivo conjunto que busca promover los enfoques innovadores que apoyen la disposición de suficiente alimento acuático para la creciente población de manera sostenible tanto ambiental, social y económicamente (FAO, 2022).

Ahora bien, la evaluación de los ciclos de vida (por sus siglas en inglés LCA) es una metodología que es aplicable en la medición de la sostenibilidad de la acuicultura, de esta manera es posible cuantificar y comparar los impactos del sistema de produc-

ción en su ciclo de vida (Galanakis, 2022). Las LCA miden un amplio rango de impactos ambientales a través de la cadena de valores que incluye la huella de carbono, eutrofización, acidificación, huella hídrica y del suelo, entre otros, permitiendo identificar fortalezas y debilidades (Regueiro *et al.*, 2021).

La contribución de los alimentos concentrados suministrados se considera que tiene uno de los mayores impactos en las LCA, teniendo en cuenta además las altas demandas de proteína que tienen los peces comparados con otros animales de cultivo como las aves y los cerdos, es por esto que se debe considerar no solo la tasa de conversión alimenticia, sino también el origen de los ingredientes, siendo importante la implementación de alternativas que contribuyan a disminuir el impacto ambiental.

Es necesario enfatizar en lo limitado de los recursos naturales que se encuentran disponibles para las actividades humanas, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, el aumento del consumo y la producción. Por esta razón, se requiere un enfoque de producción que mantenga el valor de los productos, materiales y recursos lo mayor posible, retornándolos al ciclo de producción al final de su uso y minimizando la generación de desechos (Bali S y Sweet, 2021). En este sentido, la economía circular es un sistema que busca eliminar los desechos y el uso continuo de los recursos (Liu y Ramakrishna, 2021), este se opone al modelo de producción tradicional lineal, básicamente busca cerrar circularmente los ecosistemas industriales para minimizar los desperdicios, valorando su utilidad y preservando su valor para reintegrarlo en el sistema y así maximizar su ciclo de vida.

La reutilización de subproductos derivados de la industria acuícola, como los restos sobrantes del procesamiento de filetes, pueden ser utilizados como ingrediente para la alimentación de mascotas, e incluso dentro de la misma industria (Pounds, 2022). El uso de productos, considerados como desperdicios, como ingredientes o como un nutriente independiente en la manufactura de ali-

mentos balanceados se encuentra cercanamente ligado a la economía circular, de esta manera se puede mejorar la sostenibilidad (Boyd *et al.*, 2020).

Según Colombo y Turchini (2021), el uso de ingredientes provenientes a través de la aplicación del concepto de economía circular serán los que lleven a la industria acuícola en el siguiente “escalón evolutivo”, ya que se podrá reducir la huella del impacto hídrico, de carbono, emisiones de gases de efecto invernadero, uso de tierra y remediación de agua de desecho.

Los nuevos modelos en acuicultura deben estar basados en el máximo aprovechamiento de los subproductos y aguas residuales para mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad, apoyado además en principios ecológicos como en la acuicultura multi-trófica integrada, acuaponía y el biofloc (Regueiro *et al.*, 2021).

Ahora bien, el sistema TBF es una estrategia que se considera sostenible y amigable con el medio ambiente; se basa en el crecimiento de microorganismos y un recambio de agua mínimo. Los nutrientes pueden ser reciclados constantemente, ser utilizados por los microorganismos y reutilizados como proteínas de una sola célula. Estos microorganismos usan, reciclan y transforman los excesos de nutrientes de las heces, organismos muertos, alimento no ingerido, entre otros, en biomasa que puede ser consumida por los organismos cultivados (Ruby *et al.*, 2017).

Según Ekasari (2014), el sistema biofloc genera una alta acumulación de biomasa microbiana que debe ser removida ya que requiere un suministro de oxígeno adicional, por esta razón se puede aprovechar el exceso como un ingrediente en la preparación de dietas para peces.

Una manera de remover esta biomasa acumulada es por medio de tanques decantadores o sedimentadores. De acuerdo con Ray *et al.* (2010), un tanque de 6.258 m<sup>3</sup> con una unidad de sedimentación de 250 l a un flujo de 6 l/min es capaz de remo-



ver durante 12 semanas un promedio de 951.7 l de sólidos de un sistema de producción de *L. vannamei*, esto a escala de laboratorio.

Según esta revisión, los porcentajes de materia seca en el biofloc varían desde un máximo de 21.08 (Bauer et al., 2012) y un mínimo de 0.4 (Van Den Hende et al., 2016). Ahora bien, para ilustrar el cálculo de la necesidad de harina de biofloc se puede tener en cuenta los ensayos de Dantas et al. (2014) dónde obtuvo un 13.7% de materia seca y donde a un nivel de inclusión del 20% determinó una mejora en el crecimiento de postlarvas de *L. vannamei*. En este caso se requerirían 1459.8 g de biofloc húmedo para obtener 200 g de harina de biofloc necesarios para producir 1 kg de alimento.

Teniendo en cuenta lo anterior, al cerrar el bucle del sistema de producción, dónde una de las salidas del sistema TBF se convierte en la materia prima para una de las entradas, se forma una "simbiosis" que permite el aprovechamiento de los recursos de una manera más sostenible y contribuye a la creación de un modelo de economía circular (Liu & Ramakrishna, 2021).

La acuicultura debe avanzar hacia sistemas de producción que reduzcan la huella de carbono, hídrica y el impacto en el medio ambiente; la utilización de ingredientes que provengan de la reutilización de recursos o, mejor aún, el aprovechamiento de sustancias de desecho, son pasos necesarios que se deben dar para llegar a la revolución azul.

### *Perspectivas de usode harina de biofloc como ingrediente para especies nativas*

Una de las dificultades de la industria acuícola es la producción de alimentos de alta calidad para satisfacer la creciente y constante demanda. Adicionalmente, ha sido limitada por la cantidad de materia prima disponible para producir estas harinas, unido al alto precio, ha impulsado la investigación y desarrollo de ingredientes alternativos para la producción de alimentos, en búsqueda de una acuicultura más sostenible (Gutiérrez-Espinosa y Merino,

2021). Se cree que el éxito y la estabilidad del cultivo de diversas especies depende en parte en la reducción del uso de fuentes proteicas tradicionales.

En la búsqueda de estas fuentes alternativas, se ha investigado el uso de algas, bacterias, plantas, invertebrados y subproductos de diversas industrias agropecuarias. La comunidad de microorganismos presentes en el biofloc representa una fuente proteica importante que también ha sido considerada para la elaboración de dietas experimentales de especies como bagre africano (Ekasari, et al., 2019a) tilapia (Prabu et al., 2018) y camarones (Neto et al., 2015) (Dantas et al., 2016), alcanzando sus requerimientos nutricionales.

Además de la investigación como ingrediente, se ha considerado su uso como aditivo (Hersi et al., 2023), sirviendo como inmunoestimulante promoviendo el crecimiento, la ingesta alimenticia, digestibilidad de nutrientes y bienestar animal, ya que el biofloc es rico en varios compuestos bioactivos que pueden mejorar la actividad enzimática digestiva y comunidades bacterianas que se pueden considerar como fuentes potenciales de probióticos (Chen et al., 2018; Ferreira et al., 2015; Khanjani et al., 2023).

La investigación sobre uso de harina de biofloc como fuente alternativa de proteína para especies de cultivo tradicionales en la región, como la cachama (*Piaractus orinoquensis*), permitiría optimizar el uso del recurso y la obtención de nueva información para formular alimentos que garanticen resultados de desempeño exitosos y repercuta en los costos de producción.

Además de los beneficios, es necesario señalar que los altos niveles de cenizas que llega a tener esta harina puede ser un limitante en la formulación, ya que un exceso de minerales en la dieta, como por ejemplo el magnesio, interrumpe en el metabolismo del calcio y fosforo (Webster & Lim, 2002). Adicionalmente es importante resaltar que al no existir un registro de la producción acuícola en sistemas biofloc, es difícil estimar una proyección de la obtención de harina.

Asimismo, el uso de materias consideradas de desecho, que provienen de sistemas de producción amigables con el medio ambiente, puede contribuir a disminuir la huella de carbono, hídrica y emisiones de gases de efecto invernadero, al reciclar nutrientes y evitar la liberación de aguas altamente eutrofizadas. Finalmente, de esta manera el uso de este ingrediente alternativo impacta en los pilares de la revolución azul de desarrollo sostenible: económico, ambiental y social.

## FINANCIACIÓN

Los autores agradecen al Órgano Colegiado de Administración y Decisión (OCAD) de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) del Sistema General de Regalías (SGR) por la financiación del Proyecto "Formación de alto nivel de talento humano en articulación con las potencialidades y vocaciones del Departamento del Meta - Universidad de los Llanos Meta" (Código BPIN 2021000100100) de la cual la estudiante de la maestría en Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Natalia Álvarez Perdomo, es beneficiaria.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahuja, S., Larsen, M., & Eimers, J. L. (Eds.). 2014. *Comprehensive Water Quality and Purification*. Elsevier, Amsterdam, p. 1386.
- Avnimelech Y. 2009. *Biofloc technology. A practical guide book* (Third Edit). World Aquaculture Society, p. 259.
- Azim ME, & Little DC. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 2008;283(1-4): 29-35.
- Bali S, R., & Sweet, S. (Eds.). 2021. *Sustainable Consumption and Production: Introduction to Circular Economy and Beyond: Vol. II*. Springer Nature, Cham, Switzerland, p. 387.
- Ballester EL., Abreu PC, Cavalli RO, Emerenciano M, Abreu L de, & Wasielesky Jr W. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juvenils nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*, 2010;16(2):163-172.
- Bauer W, Prentice-hernandez C, Borges M, Wasielesky W, & Poersch LHS. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 2012;(342-343):112-116.
- Binalshikh-Abubkr T, Hanafiah MM, & Das SK. Proximate chemical composition of dried shrimp and tilapia waste bioflocs produced by two drying methods. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021;9:193.
- Boyd CE, D'Abramo LR, Glencross BD, Huyben DC, Juarez LM, Lockwood GS, McNevin AA, Tacon AGJ, Teletchea F, Tomasso JR, Tucker CS, & Valenti WC. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2020;51(3):578-633.
- Cala Delgado DL, Alvarez Rubio C, & Cueva Quiroz VA. Proximal and sensory analysis of red tilapia (*Oreochromis sp.*) fed with fish tanks sediments from a Biofloc culture. *Food Science and Technology*, 2020;41:870-876.
- Caldini NN, Cavalcante DDH, Rocha Filho PRN, & Sá MV do C. Feeding Nile tilapia with artificial diets and dried bioflocs biomass. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 2015;37(4):335-341.
- Chen J, Ren Y, Wang G, Xia B, & Li Y. Dietary supplementation of biofloc influences growth performance, physiological stress, antioxidant status and immune response of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Fish and Shellfish Immunology*, 2018;72:143-152.
- Colombo SM, & Turchini GM. 'Aquafeed 3.0': creating a more resilient aquaculture industry with a circular bioeconomy framework. *Reviews in Aquaculture*, 2021;13(3):1156-1158.



- Dantas EM, Valle BCS, Brito CMS, Calazans NKF, Peixoto SRM, & Soares RB. Partial replacement of fishmeal with biofloc meal in the diet of postlarvae of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 2014;22(2): 335–342.
- Davis, A. (Ed.). 2015. *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*. Woodhead Publishing, p. 403.
- Ekasari J, Crab R, & Verstraete W. Primary Nutritional Content of Bio-Flocs Cultured with Different Organic Carbon Sources and Salinity. *HAYATI Journal of Biosciences*, 2010;17(3):125–130.
- Ekasari J, Kemala Pasha H, & Bamang Priyoutomo N. Utilization of biofloc meal as a feed ingredient for Nile tilapia and common carp. *Akuakultur Indonesia*, 2018;17(1):9–15.
- Ekasari J, Pasha HK, & Priyoutomo NB. Utilization of biofloc meal as a feed ingredient for Nile tilapia and common carp. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 2018;17(1):9–15.
- Ekasari J, Setiawati R, Ritonga FR, Setiawati M, & Suprayudi MA. Growth and health performance of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) juvenile fed with graded levels of biofloc meal. *Aquaculture Research*, 2019;50(7):1802–1811.
- Ekasari J, Suprayudi MA, Elas P, & Senja RK. The digestibility of biofloc meal from African catfish culture medium as a feed raw material for Pacific white shrimp. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 2019;18(1):1–8.
- FAO. 2020. *The state of world Fisheries and aquaculture. Sustainability in action*. Rome, p. 206.
- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture. Towards Blue Transformation*. [https://www.fao.org/3/ca9229en/online/ca9229en.html#chapter-1\\_1](https://www.fao.org/3/ca9229en/online/ca9229en.html#chapter-1_1)
- Ferreira GS, Bolívar NC, Pereira SA, Guertler C, Vieira F do N, Mouriño JLP, & Seiffert WQ. Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 2015;448:273–279.
- Galanakis, C. M. (Ed.). 2022. *Sustainable Fish Production and Processing*. Academic Press, p. 327.
- Gamboa-Delgado J, Rodríguez M GA, Román R JC, Villarreal-Cavazos DA, Nieto-López M, & Cruz-Suárez LE. Assessment of the relative contribution of dietary nitrogen from fish meal and biofloc meal to the growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research*, 2017;48(6):2963–2972.
- Gutiérrez-Espinosa MC, & Merino MC. 2021. *Manual Práctico para la preparación de alimentos balanceados artesanales para piscicultura* (Issue January). Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura - AUNAP, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).
- Hersi MA, Genc E, Pipilos A, & Keskin E. 2023. Effects of dietary synbiotics and biofloc meal on the growth, tissue histomorphology, whole-body composition and intestinal microbiota profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured at different salinities. *Aquaculture*, 570(October 2022), 739391.
- Himaja PHS, Rajagopalasamy CBT, & Ahilan B. Performance of Outdoor Biofloc Meal in the Diet of *Catla catla*, (Hamilton, 1822). *The Bioscan*, 2016;11(4):2257–2264.
- Janjai S, & Bala BK. Solar Drying Technology. *Food Engineering Reviews*, 2012;4(1):16–54.
- Jędrejek D, Levic J, Wallace J, & Oleszek W. Animal by-products for feed: Characteristics, European regulatory framework, and potential impacts on human and animal health and the environment. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2016;25(3):189–202.
- Ju Z., Forster I, Conquest L, & Dominy W. Enhanced growth effects on shrimp (*Litopenaeus van-*



- namei) from inclusion of whole shrimp floc or floc fractions to a formulated diet. *Aquaculture Nutrition*, 2008;14(6):553-543.
- Khanjani MH, Mozanzadeh MT, Sharifinia M, & Emerenciano MGC. Biofloc: A sustainable dietary supplement, nutritional value and functional properties. *Aquaculture*, 2023;562(2023):738757.
- Kuhn DD, Boardman GD, Lawrence AL, Marsh L, & Flick GJ. Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquaculture*, 2009;296(1-2):51-57.
- Kuhn DD, Lawrence AL, Boardman GD, Patnaik S, Marsh L, & Flick GJ. Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 2010;303(1-4):28-33.
- Kuhn DD, Lawrence AL, Crockett J, & Taylor D. Evaluation of bioflocs derived from confectionary food effluent water as a replacement feed ingredient for fishmeal or soy meal for shrimp. *Aquaculture*, 2016;454(2016):66-71.
- Lee C, Kim S, Lim SJ, & Lee KJ. Supplemental effects of biofloc powder on growth performance, innate immunity, and disease resistance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 2017;20(1):1-7.
- Liu, L., & Ramakrishna, S. (Eds.). 2021. *An Introduction to Circular Economy*. Springer, Singapore, p. 631.
- Lunda R, Roy K, Dvorak P, Kouba A, & Mraz J. Recycling biofloc waste as novel protein source for crayfish with special reference to crayfish nutritional standards and growth trajectory. *Scientific Reports*, 2020;10(1):1-11.
- Mabroke RS, El-Husseiny OM, Zidan AENFA, Tahoun AA, & Suloma A. Floc meal as potential substitute for soybean meal in tilapia diets under biofloc system conditions. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2018;37:313-320.
- Martinez-Porchas M, Ezquerro-Brauer M, Mendoza-Cano F, Chan-Higuera JE, Vargas-Albores F, & Martinez-Cordova LR. Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 2020;16(2020):100257.
- Nates, S.F. (Ed.). 2015. *Aquafeed Formulation*. Academic Press, Waltham, MA, p. 279.
- Nayak S, Yogev U, Kpordzaxor Y, Zhu Z, Gur N, Gross A, & Zilberg D. From fish excretions to high-protein dietary ingredient: Feeding intensively cultured barramundi (*Lates calcarifer*) a diet containing microbial biomass (biofloc) from effluent of an aquaculture system. *Aquaculture*, 2023;562(2023):738780.
- Neto HS, Santaella ST, & Nunes AJP. Bioavailability of crude protein and lipid from biofloc meals produced in an activated sludge system for white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2015;44(8):269-275.
- Péron G, François Mittaine J, & Le Gallic B. Where do fishmeal and fish oil products come from? An analysis of the conversion ratios in the global fishmeal industry. *Marine Policy*, 2010;34(4):815-820.
- Pounds A. 2022. An introduction to circular economy principles in aquaculture. *Global Seafood Alliances*, October, 4. <https://www.globalseafood.org/advocate/an-introduction-to-circular-economy-principles-in-aquaculture/>
- Prabu E, Rajagopalsamy CBT, Ahilan B, Andro Jevagan JM, & Renuhadevi M. Effect of Dietary Supplementation of Biofloc Meal with Tryptophan on Growth and Survival of GIFT Tilapia. *International Journal of Cur-*



- rent *Microbiology and Applied Sciences*, 2017;6(8):3426-3434.
- Prabu E, Rajagopalsamy CBT, Ahilan B, Jeevagan JMA, & Renuhadevi M. Effect of dietary supplementation of biofloc meal on growth and survival of GIFT tilapia. *Indian Journal of Fisheries*, 2018;65(1):65-70.
- Promthale P, Pongtippatee P, Withyachumnarnkul B, & Wongprasert K. Bioflocs substituted fishmeal feed stimulates immune response and protects shrimp from *Vibrio parahae-molyticus* infection. *Fish and Shellfish Immunology*, 2019;93(2019):1067-1075.
- Ray AJ, Lewis BL, Browdy CL, & Lef JW. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 2010;299:89-98.
- Regueiro L, Newton R, Soula M, Méndez D, Kok B, Little DC, Pastres R, Johansen J, & Ferreira M. Opportunities and limitations for the introduction of circular economy principles in EU aquaculture based on the regulatory framework. *Journal of Industrial Ecology*, 2021;26:2033-2044.
- Ruby P, Athithan S, Ahilan B, Rajagopalsamy CBT, & Sugumar G. Influence of biofloc meal on the growth performance of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Biochemical and Cellular Archives*, 2017;17(2):439-445.
- Shao J, Liu M, Wang B, Jiang K, Wang M, & Wang L. Evaluation of biofloc meal as an ingredient in diets for white shrimp *Litopenaeus vannamei* under practical conditions: Effect on growth performance, digestive enzymes and TOR signaling pathway. *Aquaculture*, 2017;479(2017):516-521.
- Tacon AGJ, & Metian M. Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 2015;23(1):1-10.
- Van Den Hende S, Claessens L, De Muylder E, Boon N, & Vervaeren H. Microalgal bacterial flocs originating from aquaculture wastewater treatment as diet ingredient for *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*, 2016;47(4):1075-1089.
- Wang C, Pan L, Zhang K, Xu W, Zhao D, & Mei L. Effects of different carbon sources addition on nutrition composition and extracellular enzymes activity of bioflocs, and digestive enzymes activity and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in zero-exchange culture tanks. *Aquaculture Research*, 2016;47(10):3307-3318.
- Webster CD, & Lim C. 2002. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. In: CD Webster & C Lim (Eds.), *Aquaculture*. CABI, p. 418.
- Wei YF, Liao SA, & Wang A li. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture*, 2016;465:88-93.
- Zedan AF, Suloma A, & Ahmed R. Inclusion of biofloc meal in tilapia diets and its effect on the structure of zooplankton community under biofloc system condition. *Journal of Egyptian Academic Society for Environmental Development. D, Environmental Studies*, 2017;18(1):47-57.