



Artículo de investigación

Efecto del biofloc en dos sistemas de cultivo sobre el crecimiento y supervivencia de machos de *Macrobrachium caementarius*

Effect of biofloc in two culture systems on the growth and survival of male *Macrobrachium caementarius*

Abraham Reyes-Blas^{1*}, Walter Reyes-Avalos²

¹ Escuela Profesional de Biología en Acuicultura, Universidad Nacional del Santa. Código Postal 02712, Nuevo Chimbote, Perú.

² Departamento Académico de Biología, Microbiología y Biotecnología. Universidad Nacional del Santa, Código Postal 02712, Nuevo Chimbote, Perú.

Recibido: 08 mayo 2026. Aceptado: 04 junio 2026. Publicado online: 30 junio 2026.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto combinado del biofloc en dos sistemas de cultivo sobre el crecimiento y la supervivencia de machos de *Macrobrachium caementarius*. El experimento se desarrolló en 12 acuarios de vidrio (55 L), distribuidos en cuatro tratamientos conformados por dos tipos de refugios (Recipientes individuales y mallas de red cebollera) y dos condiciones de agua (con biofloc y sin biofloc). Se emplearon 72 camarones con una longitud total $6,20 \pm 0,10$ cm y un peso total de $11,94 \pm 0,26$ g. Los resultados mostraron que el mayor peso se obtuvo en los ejemplares cultivados en recipientes individuales y biofloc ($p < 0,05$), mientras que el crecimiento en longitud fue similar entre tratamientos ($p < 0,05$). La supervivencia fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en los cultivados en recipientes individuales en agua sin biofloc (88,89%), en comparación con los de mallas en agua sin biofloc (27,78%), los recipientes individuales en agua con biofloc (27,78%) y con mallas en agua con biofloc (16,67%). En conclusión, el biofloc favorece el incremento en peso del camarón; sin embargo, el exceso de sólidos suspendidos y el canibalismo reducen la supervivencia. Por lo tanto, se recomienda optimizar el flujo del agua para mantener suspendido el biofloc en los acuarios para mejorar las condiciones de cultivo y maximizar la supervivencia de la especie.

Palabras clave: sistema biofloc, flóculos, proteína microbiana, sólidos suspendidos.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of biofloc in two culture systems on the growth and survival of male prawns *Macrobrachium caementarius*. The experiment was conducted in 12 glass aquariums (55 L) arranged in four treatments, which consisted of different combinations of two types of shelters (individual containers and onion mesh netting) and two water conditions (with biofloc and without biofloc). A total of 72 prawns, with an average total length of 6.20 ± 0.10 cm and an average total weight of 11.94 ± 0.26 g, were used in the study. The results showed that the highest weight gain occurred in the treatment involving individual containers with biofloc ($p < 0.05$). However, there were no significant differences in length growth among the treatments ($p < 0.05$). Survival rates were significantly higher ($p < 0.05$) in the treatments with individual containers in non-biofloc water (88.89%), compared to mesh containers in non-biofloc water (27.78%), individual containers in biofloc water (27.78%), and mesh containers in biofloc water (16.67%). In conclusion, while biofloc can enhance shrimp weight gain, the presence of excess suspended solids and cannibalism can negatively impact survival rates. Therefore, it is recommended to optimize water flow to maintain biofloc suspended in aquariums, thereby improving growth conditions and maximizing the survival of the species.

Keywords: biofloc system, flocs, microbial protein, suspended solids.



1. Introducción

Los sistemas de cultivo de organismos acuáticos han evolucionado de manera significativa en las últimas décadas. El monocultivo, antes ampliamente utilizado, ha dejado de considerarse la opción más recomendable (Medeiros et al., 2017), dando paso a los policultivos, que permiten un aprovechamiento más integral del cuerpo de agua (Junior et al., 2012). En esta misma línea, se ha impulsado el cocultivo, donde las especies se mantienen separadas para optimizar su crecimiento y reducir la competencia (Manor et al., 2002; Terrones & Reyes, 2018). Paralelamente, se ha desarrollado sistemas de recirculación de agua, los cuales facilitan el establecimiento de cultivos en regiones con escasas hídrica (Timmons et al., 2002). Este enfoque ha encontrado una aplicación particularmente innovadora en la acuaponía, que integra la producción de organismos acuáticos con la de vegetales terrestres y, con ello, incrementa de manera simultánea la eficiencia y la sostenibilidad de ambos sistemas.

En la actualidad, los sistemas de tecnología biofloc (TBF) se han consolidado como una alternativa relevante en la acuicultura. Este enfoque contribuye a la nutrición de organismos acuáticos no solo mediante el suministro de alimento vivo, sino también a través de la generación de proteína microbiana y del mantenimiento de una calidad de agua favorable para el cultivo (Samsuri et al., 2024). Sin embargo, la acumulación de materia orgánica en la TBF puede provocar un aumento en la concentración de amonio y otros compuestos nitrogenados en el agua, además de generar una mayor demanda de oxígeno disuelto (Megahed, 2010). Este efecto se mitiga gracias a la proliferación de bacterias nitrificantes (Kumar et al., 2019) y de microalgas, las cuales no solo reducen los compuestos nitrogenados, sino que además aportan nutrientes adicionales a los organismos cultivados (Thompson et al., 2002).

En los sistemas biofloc, la relación carbono:nitrógeno (C:N) puede regularse mediante la adición de fuentes de carbono como azúcar de caña, melaza u otras diversas harinas (Miao et al., 2017; Huang et al., 2022a). Se ha reportado que las relaciones C:N más empleadas son 10:1 (Crab et al., 2010), 15:1 (Nunes et al., 2015), 16:1 (Avnimelech, 1999) y 20:1 (Miao et al., 2017). En los biofloc con relaciones de 9:1 y 12:1 están dominados por una mezcla de bacterias quimioautótrofas y microalgas fotoautótrofas, mientras que aquellos con relaciones de 15:1 y 18:1 presentan predominio de bacterias quimioautótrofas luego bacterias heterótrofas (Xu et al., 2016). Asimismo, la relación 20:1 es eficaz para mantener bajos los niveles de compuestos nitrogenados, debido a la alta densidad de bacterias heterótrofas y cianobacterias presentes en el agua, así como a la presencia de bacterias heterótrofas y cianobacterias filamentosas adheridas a los flóculos, ya que estos microorganismos utilizan el nitrógeno disponible para aumentar su biomasa (Avnimelech, 1999; Ballester et al., 2010).

El biofloc constituye una fuente de probióticos debido a la presencia de *Bacillus* sp. (Muhamad et al., 2024), necesarios para una buena digestión de *Penaeus* (*Litopenaeus*) *stylirostris* (Emerenciano et al., 2011; Lee et al., 2017) y *Macrobrachium rosenbergii* (Miao et al., 2020). En *M. caementarius* cultivados con biofloc, los intestinos mostraron una alta colonización por bacterias beneficiosas con potencial para mejorar la respuesta

inmunitaria (Mendez et al., 2024; Torres-Lagos et al., 2024), de igual manera sucede en *P. (Litopenaeus) vannamei* (Gustilatov et al., 2023). Asimismo, el biofloc contiene microorganismos que aportan carotenoides (Dorothy et al., 2021), compuestos esenciales para la coloración del exoesqueleto de *M. caementarius* cuando se cultiva en recipientes individuales con deficientes pigmentos naturales (Reyes, 2016), además estimula la actividad de enzimas digestivas como tripsina y amilasa (Cardona et al., 2015). En conjunto, estos efectos favorecen el crecimiento y la supervivencia en diversas especies de crustáceos como *P. paulensis* (Emerenciano et al., 2007), *M. rosenbergii* (Miao et al., 2017; Hosain et al., 2021), *Procambarus clarkii* (Li et al., 2021) y *P. (Litopenaeus) vannamei* (Castro et al., 2021; Li et al., 2024).

El camarón *M. caementarius* presenta una amplia distribución geográfica en el Pacífico, desde el norte del Perú (6°32' S) hasta la zona central de Chile (33°26' S), alcanzando altitudes de 1400 msnm (Moscoso, 2012). Es una especie cuyo alimento natural es a base de microalgas y detritus (Viacava et al., 1978). Un problema para el cultivo comercial es el canibalismo de *M. caementarius* que ocurre en todos los estados ontogenéticos, siendo los machos los ejemplares más agresivos (Reyes, 2020). En el caso de las postlarvas en monocultivo, este comportamiento se atenúa al mantenerlas en agua con una salinidad de 12‰ (Cano et al., 2014). En los adultos, se emplea el cultivo en recipientes individuales para reducir la agresividad (Reyes, 2016), estrategia también aplicada en *Cherax quadricarinatus* (Manor et al., 2002). El uso de sustratos artificiales proporciona refugios potenciales (García-Ulloa & Pinzón, 2012), por ello, en los sistemas de cultivo se utilizan redes cebolleras como refugio, dado que su distribución en toda el área incrementa la superficie disponible y permite aprovechar de manera integral la columna de agua del sistema de cultivo (Calvo et al., 2013). En estudios recientes, se ha reportado el uso de biofloc en juveniles con esta especie de camarón y hay mejora en el crecimiento cuando se emplea baja densidad poblacional (Méndez et al., 2021; Méndez et al., 2024). Sin embargo, aún no se han realizado investigaciones sobre el uso de biofloc en ejemplares adultos cultivados en recipientes individuales y con mallas como sustrato. En consecuencia, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del biofloc en dos sistemas de cultivo sobre el crecimiento y la supervivencia de camarones machos de *M. caementarius*.

2. Materiales y métodos

2.1. Los animales

Los camarones *M. caementarius* fueron capturados de la zona de Huayto (10°39' S, 77°40' W) del río Pativilca (Lima, Perú) con ayuda de pescadores de la zona. Para el transporte, cada camarón fue introducido en un vaso de plástico perforado; posteriormente, los vasos con los camarones se dispusieron en tanques de 50 L con agua y aireación constante. El transporte terrestre tuvo una duración de seis horas. En el laboratorio, la especie de camarón fue identificada mediante el uso de una clave taxonómica (Méndez, 1981). En la investigación se emplearon solo ejemplares machos (presencia de un gonópodo en cada coxopodito del quinto par de periópodos). Los camarones fueron aclimatados durante siete días en el mismo sistema de transporte, donde se realizaron

tres recambios del 30% de agua para mantener su calidad (temperatura $25,42 \pm 0,58$ °C, el oxígeno disuelto $7,50 \pm 0,55$ mg/L, amonio total $0,02 \pm 0,01$ mg/L y pH de $7,50 \pm 0,22$ unidades). Se decidió utilizar ejemplares machos debido a su mayor tasa de crecimiento respecto a la de las hembras (Viacava et al., 1978) y a su marcada interacción agresiva y tendencia al canibalismo (Reyes, 2020). Se emplearon 72 camarones de una longitud total promedio de $6,20 \pm 0,10$ cm y un peso total de $11,94 \pm 0,26$.

2.2. Diseño e implementación experimental

El diseño experimental utilizado fue aleatorizado, con un arreglo factorial 2×2 y tres repeticiones por tratamiento. Los factores evaluados fueron: biofloc (con y sin biofloc) y sistemas de cultivo (recipientes y mallas). El experimento se llevó a cabo en 12 acuarios de vidrio ($0,60 \times 0,31 \times 0,35$ m, de $0,186$ m² y de 55 L). La densidad fue de 6 camarones/acuario (32 camarones/m²) y la duración del experimento fue de 90 días. En el tratamiento sin biofloc, la calidad del agua se mantuvo con filtros biológicos con lecho filtrante de conchuela triturada y grava, y el flujo de recirculación de agua fue de 1,5 L/min. El biofloc fue producido con melaza comercial en la proporción de 5 g/día, durante dos semanas. El reajuste en la adición de melaza se realizó semanalmente, el cual dependía de la cantidad de alimento empleado. Dicho ajuste permitió mantener el sistema en una relación C:N 20:1. Para el cálculo de la cantidad de melaza (82 °Brix), se tuvo que calcular la cantidad de NAT en el sistema (Timmons et al. 2002):

$$\text{Melaza} = [\text{NAT} \times (\text{C:N})] \times \% \text{C}^{-1}$$

$$\text{NAT} = F \times \text{PC} \times 0,092$$

Donde NAT es el nitrógeno amoniacal total. C:N relación carbono/nitrógeno. $\% \text{C}^{-1}$ es el porcentaje de carbono de la melaza. F es la cantidad de alimento suministrado. PC es el contenido de proteína del alimento proporcionado.

En el sistema de cultivo en recipientes individuales se utilizaron seis recipientes (284 cm² cada uno), instalados dentro de cada acuario (Reyes, 2016). En el sistema de cultivo con mallas se instalaron tres paños de red ($0,60 \times 0,30$ m y de 1 cm de malla), distribuidos aleatoriamente dentro de cada acuario (Calvo et al., 2013). Esta disposición permitió tener un área superficial de 0,54 m².

2.3. Dieta y alimentación

La dieta suministrada a los camarones fue elaborada conforme a la formulación empleada previamente (Reyes-Avalos, 2016) (Tabla 1). El horario de alimentación diaria fue a las 08:00 y 17:00 h, y el nivel de alimentación fue de 6% del peso total de los animales sembrados en cada acuario. Las heces de los animales fueron retirados mediante sifoneo.

2.4. Crecimiento y supervivencia

Los muestreos se realizaron mensualmente. El peso se obtuvo en una balanza digital ADAM AQT 600 ($\pm 0,1$ g) y la longitud total (LT = Escotadura post orbital hasta el extremo posterior del telson) se registró con un vernier ($\pm 0,5$ mm). A partir de los datos obtenidos fueron calculados los siguientes parámetros:

$$\text{Ganancia porcentual (\%)} = \frac{(X_2 - X_1)}{X_1} \times 100$$

$$\text{Tasa de crecimiento absoluto} = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Tasa de crecimiento específica} \left(\frac{\%}{\text{día}} \right) = \frac{[(\ln X_2 - \ln X_1)]}{t_2 - t_1} \times 100$$

$$\text{Supervivencia} = \frac{N_i \times 100}{N_o}$$

Donde X1 es el peso húmedo (g) o la longitud total (cm), iniciales; X2 es el peso húmedo (g) o la longitud total (cm), finales; t1 es el tiempo inicial (días) y t2 es el tiempo final (días). No es el número inicial de camarones. Ni es el número final de camarones.

Tabla 1. Composición (%) de los insumos y composición proximal del alimento para machos de *M. caementarius* (Reyes-Avalos, 2016).

Componentes	g/kg
Insumos	
Harina de pescado	300,00
Harina de soja	209,75
Harina de maíz	167,00
Harina de paprika	0,25
Aceite de pescado	20,00
Aceite de soja	5,00
Aceite de maíz	5,00
Lecitina de soja ¹	10,00
Polvillo de arroz	220,00
Melaza	30,00
Zeolita	20,00
Sal común	10,00
Complivit ²	3,00
Composición proximal	
Proteína bruta	30,00
Lípidos	8,10
Fibra	4,60

¹ Lecitina de soja purificada comercial purificado de soja (soya insípida en cápsulas blandas, fosfatidico contenido > 60%).

² Comprende (kg⁻¹): Vitaminas A 8 g; E 7 g; B1 8 g; B2 16 g; B6 11,6 g; B12 0,02 g; C 6 g; D3 5 g; K3 1 g; nicotinamida 10 g; niacina 6 g; Biotina 0,3 g DL Metionina 20 g; Pantotenato de calcio 47 g; El cloruro de sodio 27 g; Cloruro de potasio 34 g; El sulfato de magnesio 7 g; Maca 5 g y excipientes.

2.5. Calidad del agua

Los microorganismos como los ciliados presentes en el biofloc fueron identificados según Foissner et al. (1992), los rotíferos según Shiel (1995) y las microalgas según Taylor et al. (2007) y Belcher & Swale (1979). La temperatura del agua se registró con un termómetro digital ($\pm 0,1$ °C), el pH con un pHmetro OAKTON ($\pm 0,01$ unidades) y el oxígeno disuelto con un oxímetro digital ISY ($\pm 0,01$ mg/L). Las concentraciones de amonio total, nitritos, nitratos y alcalinidad, se determinaron mediante pruebas colorimétricas SERA (Sera GmbH, Heinsberg, Alemania, $\pm 0,1$ mg/L). Los sólidos suspendidos en el agua (mL/L) que se acumulaba en el fondo del cono Imhoff de 1000 mL se determinó 15 minutos después de la toma de muestras (Avnimelech & Kochba, 2009), metodología que se aplicó diariamente durante cinco días.

2.6. Análisis de datos

El estudio se estructuró bajo un diseño estadístico fue completamente al azar, con un arreglo factorial. La normalidad de los datos se determinó con Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianza con la prueba de Levene. Los

resultados de crecimiento se sometieron a un análisis de varianza factorial (ANOVA) y los de supervivencia mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), cuyos datos fueron transformados mediante arcoseno de la raíz cuadrada. En ambos casos las diferencias entre tratamientos se determinaron con la prueba post hoc de Duncan. El nivel de significancia del 5%. El procesamiento de los datos se efectuó con el programa estadístico SPSS versión 26.

3. Resultados

3.1. Crecimiento

Los camarones de todos los tratamientos no presentaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento en longitud total ($p > 0,05$). Sin embargo, se observó una tendencia hacia una mayor ganancia porcentual en longitud total en aquellos alimentados con biofloc, tanto en recipientes individuales como en el sistema con mallas. En cuanto al peso, este fue significativamente superior ($p < 0,05$) en los cultivos con biofloc, independientemente de si se realizaron en recipientes individuales o en sistema con mallas; no obstante, entre ambos tipos de unidades experimentales no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$). Este efecto evidenció a partir del primer mes de cultivo. Además, la interacción entre los factores (biofloc y sistemas de cultivo) solo fue obtenido con los parámetros de crecimiento en peso como el TCA ($p < 0,035$), TCE ($p < 0,044$) y la GP ($p < 0,046$) (Tabla 2).

3.2. Supervivencia

La supervivencia fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en el cultivo con recipientes individuales en agua sin biofloc durante el periodo experimental, alcanzando un valor final de $88,89 \pm 9,62\%$. No obstante, en este tratamiento las mortalidades se registraron desde los 60 días de iniciado el cultivo. En contraste, en el cultivo con mallas en agua sin biofloc, así como en los recipientes y mallas en agua con biofloc, las mortalidades se iniciaron desde los 30 días, con supervivencias finales de $27,78 \pm 9,62\%$ en los dos primeros y de $16,67 \pm 0,00\%$ en el último (Fig. 1).

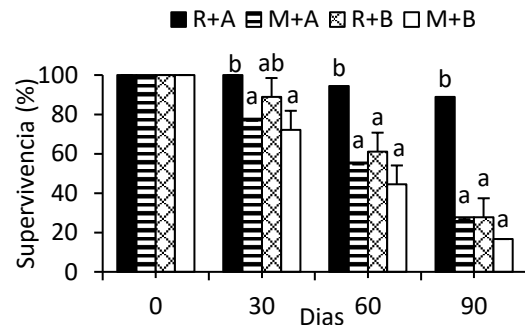


Figura 1. Supervivencia de machos de *M. caementarius* cultivados con biofloc en dos sistemas de cultivo. Los datos son expresados como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes sobre las barras indican que hay diferencia significativa ($p < 0,05$). R+A: Recipientes individuales en agua sin biofloc. M+A: Mallas en agua sin biofloc. R+B: Recipientes individuales en agua con biofloc. M+B: Mallas en agua con biofloc.

Tabla 2. Parámetros de crecimiento en longitud y peso totales de machos de *M. caementarius* cultivados en biofloc en dos sistemas de cultivo.

Parámetros	Agua sin biofloc		Agua con biofloc	
	Recipientes	Mallas	Recipientes	Mallas
Longitud total				
LT inicial (cm)	6,31 $\pm$ 0,14 ^a	6,21 $\pm$ 0,11 ^a	6,26 $\pm$ 0,17 ^a	6,07 $\pm$ 0,10 ^a
LT final (cm)	7,98 $\pm$ 0,12 ^a	7,87 $\pm$ 0,13 ^a	8,12 $\pm$ 0,26 ^a	7,80 $\pm$ 0,10 ^a
GP (%)	26,55 $\pm$ 0,90 ^a	26,75 $\pm$ 0,26 ^a	29,65 $\pm$ 0,93 ^a	28,59 $\pm$ 2,43 ^a
TCA (cm/día)	0,02 $\pm$ 0,00 ^a	0,02 $\pm$ 0,00 ^a	0,02 $\pm$ 0,00 ^a	0,00 $\pm$ 0,00 ^a
TCE (%/día)	0,26 $\pm$ 0,01 ^a	0,26 $\pm$ 0,00 ^a	0,29 $\pm$ 0,01 ^a	0,12 $\pm$ 0,01 ^a
Peso total				
PT inicial (g)	11,73 $\pm$ 0,41 ^a	11,75 $\pm$ 0,24 ^a	12,13 $\pm$ 0,18 ^a	12,19 $\pm$ 0,26 ^a
PT final (g)	14,95 $\pm$ 0,56 ^a	14,02 $\pm$ 0,13 ^a	16,05 $\pm$ 0,35 ^b	15,87 $\pm$ 0,15 ^b
GP (%)	27,45 $\pm$ 2,05 ^{ab}	19,37 $\pm$ 3,24 ^a	32,27 $\pm$ 1,21 ^b	30,22 $\pm$ 1,75 ^b
TCA (g/día)	0,04 $\pm$ 0,00 ^a	0,03 $\pm$ 0,00 ^a	0,04 $\pm$ 0,00 ^b	0,04 $\pm$ 0,00 ^b
TCE (%/día)	0,27 $\pm$ 0,02 ^{ab}	0,20 $\pm$ 0,03 ^a	0,31 $\pm$ 0,01 ^b	0,29 $\pm$ 0,02 ^b

LT: Longitud total. PT: Peso total. GP: Ganancia porcentual. TCA: Tasa de crecimiento absoluta. TCE: Tasa de crecimiento específica. Los datos son expresados como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Datos con letras diferente en superíndices en una fila indica que hay diferencia significativa ($p < 0,05$).

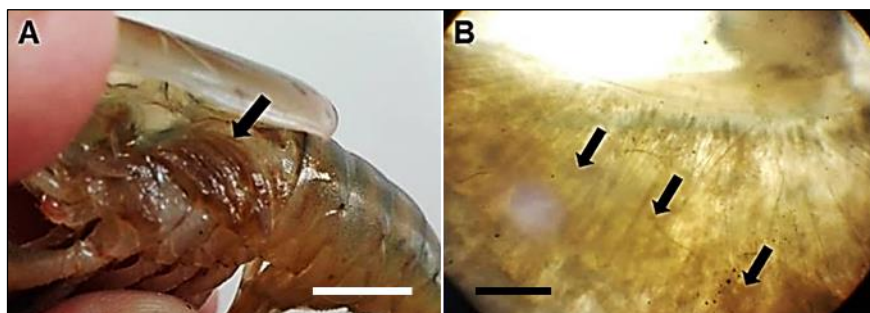


Figura 2. Estado de las branquias de machos de *M. caementarius* al final del periodo de cultivo. A) Branquias con exceso de flóculos (flecha). B) Observación al microscopio (10 X) de las branquias obstruidas por flóculos (flechas). Barra blanca: 1 cm. Barra negra: 3 mm.

Tabla 3. Parámetros físicos y químicos del agua de cultivo de machos de *M. caementarius* cultivados en biofloc en dos sistemas de cultivo a los 90 días de experimentación.

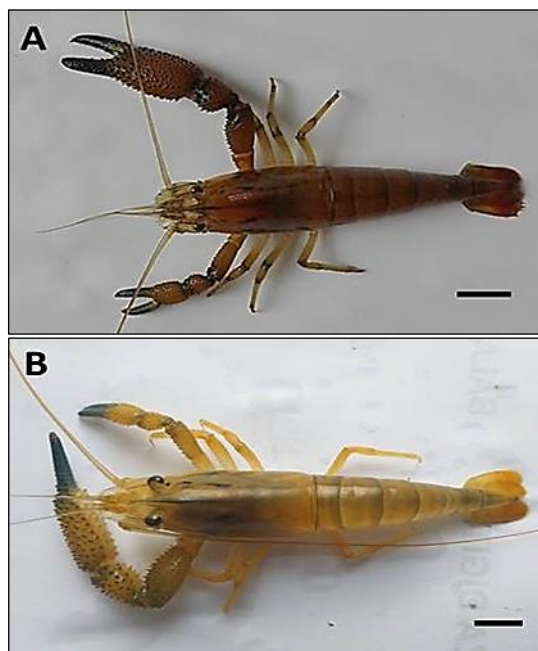
Parámetros	Agua sin biofloc		Agua con biofloc	
	Recipientes	Mallas	Recipientes	Mallas
Temperatura (°C)	25,50 ± 0,19 ^a	26,17 ± 0,43 ^a	26,00 ± 0,47 ^a	25,58 ± 0,50 ^a
Oxígeno (mg/L)	7,60 ± 0,29 ^a	7,50 ± 0,28 ^a	7,75 ± 0,21 ^a	7,41 ± 0,23 ^a
pH (Unidades)	7,41 ± 0,05 ^a	7,48 ± 0,05 ^a	7,76 ± 0,04 ^{ab}	7,79 ± 0,10 ^{ab}
Amonio total (mg/L)	0,01 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,02 ^a
Nitrito (mg/L)	0,67 ± 0,36 ^a	0,67 ± 0,47 ^a	0,71 ± 0,44 ^a	0,71 ± 0,28 ^a
Nitrato (mg/L)	12,92 ± 5,83 ^a	12,92 ± 5,83 ^a	16,25 ± 4,79 ^a	16,67 ± 9,72 ^a
Alcalinidad (mg/L)	66,75 ± 5,68 ^a	69,72 ± 5,68 ^a	123,12 ± 5,68 ^{ab}	123,15 ± 8,85 ^{ab}
Sólidos sedimentables (mL/L)	4,67 ± 0,61 ^a	5,00 ± 1,00 ^a	60,00 ± 6,20 ^b	63,33 ± 2,49 ^b

Los datos son expresados como media ± desviación estándar (n = 3). Datos con letras diferente en superíndices en una fila indica que hay diferencia significativa ($p < 0,05$).

Los sólidos sedimentables en los sistemas de cultivos (Recipientes individuales y mallas) con biofloc tuvieron un incremento progresivo desde el inicio del experimento que fue de $6,67 \pm 1,96$ mL/L hasta los 60 días que alcanzó los $73,33 \pm 1,15$ mL/L y $76,67 \pm 4,58$ mL/L, respectivamente, seguido de una disminución a $60,00 \pm 6,20$ mL/L y $63,33 \pm 2,49$ mL/L a los 90 días, respectivamente y sin diferencias significativas ($p > 0,05$) (Tabla 3). Estos sólidos se acumularon como flóculos en el fondo de los recipientes y de los acuarios, lo que ocasionó mortalidad en los camarones principalmente por la obstrucción branquial (Fig. 2) además de favorecer eventos de canibalismo. En cambio, como era de esperarse, en los cultivos sin biofloc los sólidos sedimentables fue inferior a 5 mL/L.

3.3. Coloración corporal

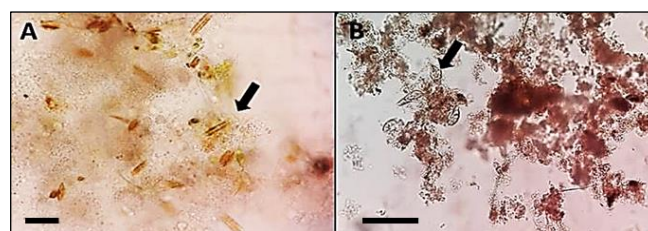
Los camarones cultivados en agua con biofloc durante 90 días mantuvieron la coloración corporal (Fig. 3A). En contraste, aquellos criados en agua sin biofloc presentaron decoloración del cuerpo (Fig. 3B).

**Figura 3.** Color del cuerpo de machos de *M. caementarius* cultivados en A) agua con biofloc y B) agua sin biofloc. Barra: 1 cm.

3.4. Composición cualitativa del biofloc

Los microorganismos identificados en el biofloc incluyeron

el rotífero *Philodina* sp., las microalgas *Navicula* sp. (Fig. 4), *Chlorella* sp., los protozoos ciliados *Vorticella* sp. *Paramecium* sp. y nematodos.

**Figura 4.** Microorganismos presentes en el biofloc (flechas). A) Microalga *Navicula* sp. Barra = 10 µm. B) Rotíferos *Philodina* sp. Barra = 100 µm.

3.5. Calidad del agua

Los parámetros físicos y químicos del agua fueron similares ($p > 0,05$) entre los tratamientos evaluados (Tabla 3).

4. Discusión

Los resultados obtenidos muestran que *M. caementarius* cultivado en sistemas con biofloc presentó un mejor desempeño en crecimiento en peso respecto a los tratamientos sin biofloc, lo que confirma el papel del biofloc como fuente suplementaria de nutrientes. Este hallazgo coincide con lo reportado en la misma especie (Mendez et al., 2024), así como en *P. (Litopenaeus) vannamei* (Panigrahi et al., 2020; Samsuri et al., 2024) y *M. rosenbergii* (Eilious et al., 2021), donde el biofloc constituye un alimento natural adicional gracias a su contenido de proteína bacteriana y a la presencia de microalgas, protozoos, cladóceros, rotíferos, copépodos y nematodos. Asimismo, se ha señalado que el biofloc puede alcanzar hasta un 39% de proteína lo que representa un alto valor nutricional (Tinh et al., 2021). No obstante, las tasas de crecimiento específico obtenidas en este estudio fueron inferiores a las reportadas en la misma especie (0,80 %/día; Mendez et al., 2024) y en otros crustáceos, como *M. rosenbergii* (3,91 %/día; Miao et al., 2017) y *P. (Litopenaeus) vannamei* (2,42 %/día; Hossein et al., 2025), estas diferencias probablemente sea consecuencia en la eficiencia del aprovechamiento de nutrientes o en las condiciones de manejo, que es necesario evaluar.

La baja supervivencia de *M. caementarius* observada en los tratamientos con mallas sin biofloc (27,78%) se relacionó con el marcado canibalismo, confirmando la agresividad

característica de la especie, especialmente en los ejemplares machos (Escobar et al., 2017). En los sistemas con biofloc, la supervivencia también fue reducida (16,67%), debido al canibalismo y principalmente al incremento y acumulación excesiva de sólidos sedimentables en el agua, así como en el fondo y paredes de los recipientes y acuarios. La elevada concentración de sólidos sedimentables en los tratamientos con biofloc ocasionaron obstrucción branquial en los camarones cultivados en recipientes individuales, fenómeno previamente descrito en *P. (Litopenaeus) vannamei* bajo condiciones similares (Huang et al., 2022a). Estos hallazgos evidencian que el diseño de los recipientes individuales y el flujo del agua dentro de los acuarios no fue adecuado, ya que no permitió la distribución uniforme de los flóculos, lo que surge la necesidad de optimizar tanto los sistemas de cultivo como el manejo del biofloc para maximizar los beneficios de esta tecnología en *M. caementarius*.

En los cultivos con biofloc, la concentración de sólidos suspendidos incrementó de manera progresiva, posiblemente como consecuencia de la baja densidad poblacional de *M. caementarius* y de la limitada capacidad de consumo de flóculos, fenómeno previamente descrito en *M. rosenbergii* (Asaduzzaman et al., 2008). El control de estos sólidos es esencial, ya que su acumulación puede aumentar la demanda bioquímica de oxígeno y provocar obstrucción branquial (Emerenciano, 2012; Ferreira et al., 2021; Huang et al., 2022b). En el presente estudio, los volúmenes de flóculos alcanzaron valores muy superiores al rango recomendado para camarones (5–15 mL/L), lo que derivó en valores máximos de 60.00 mL/L en los tratamientos con recipientes con biofloc y de 63,33mL/L en los de mallas con biofloc. Este exceso de biofloc puede estar asociado tanto al consumo de oxígeno por parte de las bacterias como a la obstrucción de las branquias en los camarones, y ambos efectos han sido reportados en estudios previos (Emerenciano et al., 2017; Eilious et al., 2021).

Otro aspecto relevante observado en el presente estudio, fue la pigmentación corporal de *M. caementarius*. En el agua sin biofloc se observó despigmentación del cuerpo de los camarones, lo que indica deficiencia de carotenoides como ha sido reportado previamente (Reyes, 2011; Reyes, 2016). En contraste, los camarones cultivados con biofloc mantuvieron su pigmentación, dado que este sistema constituye una fuente de carotenoides (Miao et al., 2017), como ha sido demostrado con otros pigmentos naturales (Fuentes et al., 2021).

Finalmente, la presencia de microalgas y protozoos, así como de bacterias heterótrofas, hongos, rotíferos y algas en los cultivos con biofloc confirma la complejidad de esta comunidad microbiana (Manan et al., 2016; Khoa et al., 2020). Los protozoos, en particular, desempeñan un papel esencial junto con las bacterias en el reciclaje de materia orgánica (Emerenciano et al., 2012; Huu et al., 2021), reforzando la importancia del biofloc como sistema ecológico que contribuye a la sostenibilidad del cultivo de *M. caementarius*.

5. Conclusiones

El crecimiento en peso de *M. caementarius* fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en los tratamientos con biofloc, mientras que la longitud fue similar ($p > 0,05$) en todos los tratamientos. La supervivencia fue más alta (88,89%) en los tratamientos con recipientes en agua sin biofloc, en

comparación con los de mallas en agua sin biofloc (27,78%), así como en los recipientes individuales en agua con biofloc (27,78%) y con mallas en agua con biofloc (16,67%). Asimismo, los ejemplares cultivados en biofloc mantuvieron su color corporal durante el periodo experimental, en contraste con aquellos cultivados sin biofloc, que presentaron despigmentación. Es recomendable continuar las investigaciones para optimizar el diseño de los sistemas y el flujo del agua, de modo que garantice la suspensión uniforme de los flóculos y se mantenga alta supervivencia en el sistema de cultivo.

Contribución de los autores

Abraham Reyes-Blas: Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Investigación, Redacción-borrador original, Redacción-revisión y edición. **Walter Reyes-Avalos:** Validación, Análisis formal, Curaduría de datos, Redacción-revisión y edición, Supervisión.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

ORCID

Abraham Reyes-Blas: <http://orcid.org/0000-0003-4684-1991>

Walter Reyes-Avalos: <http://orcid.org/0000-0002-4277-9521>

Referencias bibliográficas

- Asaduzzaman, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C.J., Huque, S., Salam, M.A., & Azim, M.E. (2008). C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture*, 280(1-4), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.04.019>
- Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(3-4), 227–235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X)
- Avnimelech, Y., & Kochba, M. (2009). Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using 15N tracing. *Aquaculture*, 287, 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.009>
- Ballester, E., Abreu, P., Cavalli, R., Emerenciano, M., De Abreu, L., & Wasielesky, W. (2010). Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero-exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*, 16, 163–172. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00648.x>
- Belcher, H., & Swale, E. (1979). An illustrated guide to River phytoplankton. Institute of Terrestrial Ecology. Natural environment research council. 36 Storey's Way Cambridge. https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/5243/1/illustrated_river_phytoplankton.pdf
- Calvo, N.S., Tomas, A.L., & López-Greco, L.S. (2013). Influencia de la disposición espacial y la superficie de refugios sobre la supervivencia y crecimiento de juveniles de *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae) y su aplicación al cultivo intensivo. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(4), 732–738.
- Cano, F., Carrión, S., & W. Reyes. (2014). Efecto de altas densidades de siembra en el crecimiento y supervivencia de postlarvas de *Cryphiops caementarius* (Crustacea: Palaemonidae) en agua salobre. *Revista Citecsa*, 5(8), 62–78. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000387665>
- Cardona, E., Lorgeoux, B., Geffroy, C., Richard, P., Saulnier, D., Gueguen, Y., Guillou, G., & Chim, L. (2015). Relative contribution of natural productivity and compound feed to tissue growth in blues shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) reared in biofloc: Assessment by C and N stable isotope ratios and effect on key digestive enzymes. *Aquaculture*, 448, 288–297. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.035>

- Castro, L.F., Pinto, R.C.C., & Nunes, A.J.P. (2021). Nutrient value and contribution of microbial floc to the growth performance of juvenile shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed fatty acid and amino acid-restrained diets under a zero-water exchange intensive system. *Aquaculture*, 531, 735789. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735789>
- Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., & Verstraete, W. (2010). The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research*, 41, 559–567. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02353.x>
- Dorothy, M.S., Vungarala, H., Sudhagar, A., Reddy, A.K., & Asanaru, B. (2021). Growth, body composition and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* juveniles reared at different stocking densities in the biofloc system using inland saline groundwater. *Aquaculture Research*, 52, 6299–6307. <https://doi.org/10.1111/are.15493>
- Eilious, M.D., Nurul, S.M., Arshad, A., Salleh, M., & Karim, M. (2021). Effects of carbon sources on the culture of giant river prawn in biofloc system during nursery phase. *Aquaculture Reports*, 19, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100607>
- Emerenciano, M., Wasielesky, W., Soares, R.B., Ballester, E.C., Izeppi, E.M., & Cavalli, R.O. (2007). Crescimento e sobrevivência do camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na fase de berçário em meio heterotrófico. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 29(1), 1–7. <http://repositorio.furg.br/handle/1/2368>
- Emerenciano, M., Cuzon, G., Goguenheim, J., Gaxiola, G., & AQUACOP. (2011). Floc contribution on spawning performance of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. *Aquaculture Research*, 44, 75–85. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03012.x>
- Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., & Wasielesky, W. (2012). Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture Research*, 43, 447–457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x>
- Emerenciano, M., Martínez-Cordova, L., Martínez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc Technology (BFT): A tool for water quality management in aquaculture. In *Water Qual.* Edited by Hlanganani Tutu. (pp. 91–109). IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/66416>
- Escobar, C., Pachamoro, M., & Reyes, W. (2017). Supervivencia y crecimiento de machos del camarón de río *Cryphiops caementarius* Molina, 1782 (Crustacea, palaemonidae) expuestos a salinidades. *Ecología Aplicada*, 16(2), 75–82. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1010>
- Ferreira, G., Santos, D., Schmach, F., Machado, C., Fernandes, V., Bögner, M., Schleder, D., Seiffert, W., & Vieira, F. (2021). Heterotrophic, chemoautotrophic and mature approaches in biofloc system for Pacific white shrimp. *Aquaculture*, 533, 736099. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736099>
- Foissner, W., Berger, H., Blatterer, H., & Kohmann, F. (1992). Taxonomische und ökologische revision der ciliaten des saprobiensystems. Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 1/91, 478 pp. https://www.foissner.at/data_prot/Foissner.etal.1991.1-478.pdf
- Fuentes, A., Quezada, L., & Reyes-Avalos, W. (2021). Pigmentación del cuerpo del camarón *Cryphiops caementarius* (Palaemonidae) con dietas suplementadas con caléndula (*Calendula officinalis*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32, e18344. <https://doi.org/10.15381/riverv.v32i1.18344>
- García-Ulloa, M., & Pinzón, L. (2012). Efecto de diversos sustratos artificiales en el crecimiento y supervivencia de estadios tempranos de la langosta azul (*Cherax quadricarinatus*) cultivados en un sistema de recirculación. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(3), 1–16. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63623410004.pdf>
- Gustilatov, M., Widanarni, W., Ekasari, J., Julyantoro, P., & Waturangi, D. (2023). Biofloc system supplemented by *Pseudoalteromonas piscicida* 1Ub protects the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* from *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Aquaculture and Fisheries*, 9(6), 967–974. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.05.003>
- Hosain, E., Amin, N., Salleh, M., Arshad, A., Karim, M., & Romano, N. (2021). Effect of salinity on growth, survival, and proximate composition of *Macrobrachium rosenbergii* post larvae as well as zooplankton composition reared in a maize starch based biofloc system. *Aquaculture*, 533, 736235. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736235>
- Hossein, M., Eslami, J., & Emerenciano, M. (2025). Wheat flour as carbon source on water quality, growth performance, hemolymph biochemical and immune parameters of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) juveniles in biofloc technology (BFT). *Aquaculture Reports*, 40, 102623. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102623>
- Huang, H.H., Liao, H.M., Lei, Y.J., & Yang, P.H. (2022a). Effects of different carbon sources on growth performance of *Litopenaeus vannamei* and water quality in the biofloc system in low salinity. *Aquaculture*, 546, 737239. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737239>
- Huang, H.-H., Li, C.-Y., Song, Y., Lei, Y.-J., & Yang P.-H. (2022b). Growth performance of shrimp and water quality in a freshwater biofloc system with a salinity of 5.0‰: effects on inputs, costs and wastes discharge during grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 98, 102265. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102265>
- Huu, T., Adeiza, T., Kokou, F., Ngoc, T., Schrama, J., Verreth, J., & Verdegem, M. (2021). Effects of carbohydrate addition methods on Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 543, 102325. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736890>
- Junior, A.P.B., Azevedo, C.M.S.B., Pontes, F.S.T., & Henry-Silva, G.G. (2012). Polyculture of Nile tilapia and shrimp at different stocking densities. *Revista Brasileira Zootecnia*, 41, 1561–1569. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000700002>
- Khoa, T.N.D., Tao, C.T., Van Khanh, L., & Hai, T.N. (2020). Super-intensive culture of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in outdoor biofloc systems with different sunlight exposure levels: emphasis on commercial applications. *Aquaculture*, 524, 735277. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735277>
- Kumar, S., Anand, P.S.S., De, D., Ghoshal, T.K., Alavandi S.D., & Vijayan, K.K. (2019). Integration of substrate in biofloc based system: Effects on growth performance, water quality and immune responses in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* culture. *Aquaculture Research*, 50, 2986–2999. <https://doi.org/10.1111/are.14256>
- Lee, C., Kim, S., Lim, S., & Lee, K. (2017). Supplemental effects of biofloc powder on growth performance, innate immunity, and disease resistance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 20, 15. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0059-7>
- Li, J., Huang, J., Li, Ch., Zhang, Y., Wang, Y., Hou, S., Cheng, Y., & Li, J. (2021). Evaluation of the nutritional quality of edible tissues (muscle and hepatopancreas) of cultivated *Procambarus clarkii* using biofloc technology. *Aquaculture Reports*, 19, 100586. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100586>
- Li, Z., Du, Q., Jiao, T., Zhu, Z., Wan, X., Ju, C., Liu, H., & Li, Q. (2024). Effects of probiotic supplementary bioflocs (*Rhodospirillum rubrum*, *Bacillus subtilis*, *Providencia rettgeri*) on growth, immunity, and water quality in cultures of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 591, 741141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741141>
- Manan, H., Zhong, J., Azman, N., Suratman, S., & Ikhwanuddin, M. (2016). Identification of biofloc microscopic composition as the natural bioremediation in zero water exchange of Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*, culture in closed hatchery system. *Applied Water Science*, 7, 2437–2446. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0421-4>
- Manor, R., Segev, R., Pimenta, M., Aflalo, E.D., & Sagi, A. (2002). Intensification of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* culture II. Growout in a separate cell system. *Aquaculture Engineering*, 26, 263–276. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00035-3)
- Medeiros, M., Aubin, J., & Camargo, A. (2017). Life cycle assessment of fish and prawn production: Comparison of monoculture and polyculture freshwater systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 156, 528–537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.059>

- Megahed, M. (2010). The effect of microbial biofloc on water quality, survival and growth of the green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) fed with different crude protein levels. *Journal of the Arabian Aquaculture Society*, 5(2), 119–142. https://www.arabags.org/journal/vol_5/2/Text%2010%20-%2010.pdf
- Méndez, M. (1981). Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) del mar y ríos de la costa del Perú. *Boletín del Instituto del Mar Perú* 5: 1-170. <http://bibliomarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/1028>
- Méndez, C., Morales, M., & Merino, G. (2021). Settling velocity distribution of bioflocules generated with different carbon sources during the rearing of the river shrimp *Cryphiops caementarius* with biofloc technology. *Aquacultural Engineering*, 93, 102157. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102157>
- Mendez, C.A., Morales, M.C., & Brokordt, K. (2024). Effects of stocking density of the river shrimp *Cryphiops caementarius* on physiological and performance responses in a biofloc system. *Fishes*, 9, 377. <https://doi.org/10.3390/fishes9100377>
- Miao, S., Sun, L., Bu, H., Zhu, J., & Chen, G. (2017). Effect of molasses addition at C:N ratio of 20:1 on the water quality and growth performance of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture International*, 25, 1409–1425. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0124-3>
- Miao, S., Hu, J., Wan, W., Han, B., Zhou, Y., Xin, Z., & Sun, L. (2020). Biofloc technology with addition of different carbon sources altered the antibacterial and antioxidant response in *Macrobrachium rosenbergii* to acute stress. *Aquaculture*, 525, 735280. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735280>
- Moscoso, V. (2012). Catálogo de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú. *Boletín del Instituto del Mar Perú*, 27(1-2): 8-207. <http://bibliomarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/2190>
- Muhamad, G., Widanarni, W., Ekasari, J., G. de Sasmita, P., & Waturangi, D. (2024). Biofloc system supplemented by *Pseudoalteromonas piscicida* 1Ub protects the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* from *Vibrio parahaemolyticus* infection. *Aquaculture and Fisheries*, 9, 967–974. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.05.003>
- Nunes, N., De Holanda, D., Nogueira, P., & Vinícius, M. (2015). Feeding Nile tilapia with artificial diets and dried bioflocs biomass. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 37, 335–341. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v37i4.27043>
- Okomoda, V.T., Ikhwannuddin, M., Oladimeji, A.S., Najiah, M., Alabi, K.I., Abd Salam, A.I., Jauhari, I., & Kasan, N.A. (2022). Rearing water quality and zootechnical parameters of *Litopenaeus vannamei* in rapid Biofloc® and conventional intensive culture system. *Journal of King Saud University Science*, 34, 101729. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101729>
- Panigrahi, A., Saranya, C., Ambiganandam, K., Sundaram, M., Sivakumar, M.R., & Kumaraguru, K.P. (2020). Evaluation of biofloc generation protocols to adopt high density nursery rearing of *Penaeus vannamei* for better growth performances, protective responses and immuno modulation in biofloc based technology. *Aquaculture*, 522, 735095. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735095>
- Reyes, W.E. (2011). Growth, reproduction and survival of river prawn females *Cryphiops caementarius* in raised individual containers. *Sciéndo*, 14(1-2), 75-86.
- Reyes-Avalos, W. (2016). Effect of culture container on the survival and growth of male *Cryphiops caementarius* in individualized systems. *Revista Bio Ciencias*, 3(4), 311–325. <https://doi.org/10.15741/revbio.03.04.06>
- Reyes, W. (2020). Management of the interaction and cannibalism of postlarvae and adults of the freshwater shrimp *Cryphiops caementarius* (Molina, 1782). In *Crustacea* (pp. 51–64). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87438>
- Samsuri, E., Ganesan, P., Jauhari, I., Tan, G., & Hamad, F. (2024). Reusing biofloc-culture water and microbubble aeration for culturing the white-leg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture and Fisheries*, 10(4), 687–395. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.04.010>
- Shiel, R.J. (1995). A guide to identification of rotifers, cladocerans and copepods from Australian island waters. Identification Guide Series No. 3. Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology, Albury, NSW Editor: Murray-Darling Freshwater Research Centre. 1-144.
- Taylor, J.C., Harding, W.R., & Archibald, C.G.M. (2007). An illustrated guide to some common diatom species from South Africa. Water Research Commission. Report TT 282/07. <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT282-07.pdf>
- Terrones, S., & Reyes, W. (2018). Effect of diets with biological silage of mollusk residues on the growth of shrimp *Cryphiops caementarius* and tilapia *Oreochromis niloticus* in intensive co-culture. *Scientia Agropecuaria*, 9, 167–176. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.01>
- Tinh, T.H., Koppenol, T., Hai, T.N., Verreth, J.A.J., & Verdegem, M.C.J. (2021). Effects of carbohydrate sources on a biofloc nursery system for whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 531, 735795. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735795>
- Thompson, F., Abreu, P., & Wasielesky, W. (2002). Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. *Aquaculture*, 203, 263–278. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00642-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00642-1)
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., & Vinci, B.J. (2002). *Recirculating aquaculture systems*, 2nd Edition. Cayuga Aqua Ventures, New York. 769 pp. <https://www.gbv.de/dms/sub-hamburg/63663258X.pdf>
- Torres-Lagos, E., Henríquez-Castillo, C., Méndez, C., Morales, M., Cárcamo, C., Navarrete, P., Schmitt, P., & Brokordt, K. (2024). Biofloc culture system shapes the structure and function of environmental and intestinal bacterial communities in the river prawn *Cryphiops caementarius*. *Aquaculture Reports*, 39, 102359. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102359>
- Viacava, M., Aitken, R., & Llanos, J. (1978). Estudio del camarón en el Perú 1975 - 1976. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 3, 162–232. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/237>
- Xu, W., Morris, T., & Samocha, T. (2016). Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*, 453, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.021>