

Evaluación del rendimiento productivo de juveniles de *Oreochromis niloticus*, alimentados con molienda de larvas de *Hermetia illucens* en un sistema biofloc

Evaluation of the growth performance of juvenile Oreochromis niloticus fed ground larvae of Hermetia illucens in a biofloc system

Ricardo Salomón¹, Dora Cerdán²

¹Universidad San Carlos (USC), Departamento de Zootecnia, Asunción, Paraguay

²Universidad Nacional de Formosa (UNaF), Facultad de Recursos Naturales, Cátedra de Acuicultura, Formosa, Argentina.

RESUMEN. Se evaluó el efecto de la sustitución del balanceado comercial por la molienda de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), sobre el crecimiento somático de tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en un sistema biofloc. Peces alimentados con la dieta control (peso corporal inicial [PC] = 29,93 ± 0,21 g) y peces alimentados con la dieta de larvas (PC = 31,06 ± 1,05 g) fueron alimentados en tres réplicas de tanques durante 61 días. Al final del ensayo no se observaron diferencias significativas en el rendimiento productivo entre ambos tratamientos (73,50 ± 2,29 g frente a 73,39 ± 1,90 g respectivamente; $P > 0,05$). Asimismo, en cuanto a la tasa específica de crecimiento (SGR) de los peces alimentados con ambas dietas, no registraron diferencias significativas ($SGR_{0-61 \text{ días (control)}} = 1,47 \pm 0,05\% \text{ día}^{-1}$, $SGR_{0-61 \text{ días (larvas)}} = 1,40 \pm 0,09\% \text{ día}^{-1}$; $P < 0,05$). Por lo tanto, los resultados obtenidos en el presente estudio con las especies mencionadas alimentadas con la molienda de larvas de insecto pueden considerarse una alternativa de alimentación sostenible y respetuosa con el medio ambiente para su uso en acuicultura, ya que no compromete el crecimiento somático.

Palabras clave: Acuicultura, tilapia del Nilo, BFT, crecimiento, mosca soldado negro

ABSTRACT. In the present study, we evaluated the effect of replacing commercial feed with the grinding of insect larvae, dipteran, black soldier fly (*Hermetia illucens*), on somatic growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a Biofloc System. Fish fed the control diet (initial body weight [BW] = 29.93 ± 0.21 g), and fish fed the larval diet (BW = 31.06 ± 1.05 g) were fed in three replicate tanks per treatment for 61 days. At the end of the trial, no significant differences in growth performance were observed among the two treatments (73.50 ± 2.29 g vs. 73.39 ± 1.90 g respectively; $P > 0.05$). Likewise, specific growth rate (SGR) of fish fed both diets did not show significant differences ($SGR_{0-61 \text{ days (control)}} = 1.47 \pm 0.05\% \text{ day}^{-1}$, $SGR_{0-61 \text{ days (larvae)}} = 1.40 \pm 0.09\% \text{ day}^{-1}$; $P < 0.05$). Therefore, the results obtained in the present study under controlled laboratory conditions with the aforementioned species fed with the insect larval grind, dipteran, black soldier fly, may be considered a sustainable and environmentally friendly feeding alternative for use in aquaculture, as it does not compromise the somatic growth.

Keywords: Aquaculture, Nile tilapia, BFT, growth performance, black soldier fly.

Dirección para correspondencia: Ricardo Salomón - Universidad San Carlos (USC), Departamento de Zootecnia, Alfredo Seiferheld 4989, 1421, Asunción, Paraguay

E-mail: hector.salomon@usc.edu.py

Recibido: 20 de junio 2024 / **Aceptado:** 28 de diciembre 2024

INTRODUCCIÓN

La acuicultura desempeña un papel cada vez más importante a la hora de garantizar la seguridad alimentaria mundial. Sin embargo, el futuro de la producción acuícola debe basarse en prácticas de alimentación más sostenibles para reducir la dependencia de ingredientes de origen marino, como la harina y el aceite de pescado (1). Hoy en día, el uso de insectos en los alimentos acuícolas como alternativas sostenibles a los balanceados tradicionales ha ganado cada vez más atención por parte de la comunidad científica (2). Hallazgos recientes han demostrado que los insectos tienen una mayor eficiencia de conversión (transforman los alimentos que ingieren en su propio peso corporal) que el ganado o los peces (3). Aunado a ello, la mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es la más prometedora por su calidad nutricional y sus beneficios medioambientales (4). Las larvas de *H. illucens* son ricas en proteínas (30 a 60% de materia seca, MS), tienen un perfil equilibrado de aminoácidos esenciales, lípidos (hasta 30% de MS), vitaminas y minerales (5,6). Dichas larvas de *H. illucens* pueden criarse en residuos y otros subproductos, participando en el concepto de economía circular (7). Debido a estas razones, la sustitución parcial o total del alimento balanceado comercial por la mosca soldado negro se ha demostrado con éxito en varias especies de peces con interés comercial en el mundo, como, por ejemplo, la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) (8); salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (9,10); lubina japonesa (*Lateolabrax japonicus*) (11) y la lubina europea (*Dicentrarchus labrax*) (12); tilapia híbrida roja (*Oreochromis* sp.) (13) y también en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) (14). Sin embargo, aún en la actualidad son escasos los estudios y existe poca información sobre los efectos de la molienda de larvas de mosca soldado negro (HM) en el rendimiento productivo de la tilapia.

La tilapia del Nilo es una de las especies de peces más cultivadas en el mercado mundial, con China, Indonesia, Egipto y Brasil como principales productores, principalmente, debido a su rápido crecimiento, alta tasa de producción y buena resistencia a las enfermedades (15). Así también tiene y es reconocida por un alto valor de mercado en el comercio mundial de pescado (16) y actualmente ocupa el segundo lugar en la lista de especies de peces cultivados en todo el mundo (15). La producción de esta especie en todo el mundo se lleva a cabo de diversas formas, siendo las más reconocidas a nivel global los métodos intensivos e incluso

superintensivos (17), debido a la capacidad de la tilapia para resistir altas densidades de siembras (kg/m^3) sin perjudicar sus rendimientos productivos (18). Sin embargo, estas maneras de producir (intensiva y superintensiva) traen consigo desafíos y tendencias en el engorde de la tilapia a nivel mundial (19). Así, la cría moderna de tilapia con bajo uso de agua tiene como objetivo, al igual que en la bioeconomía circular, reducir los insumos y reutilizar totalmente los desechos y efluentes, cerrando flujos o vínculos de recursos económicos y ecológicos. Asimismo, la preocupación por las enfermedades, la demanda del mercado por una acuicultura limpia, sostenible y amigable con el medio ambiente, están dando lugar a una serie de cambios estructurales en la reutilización de aguas y efluentes a través de diversos sistemas cerrados de recirculación y descentralizando los sistemas de producción (producción y consumo local). En las últimas décadas, una de las importantes innovaciones y tendencias del cultivo de tilapia es hacia la bioeconomía circular, caracterizada por varios sistemas de recirculación, como por ejemplo es la tecnología biofloc (BFT, por sus siglas en inglés: *biofloc technology*), y los sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés, *recirculating aquaculture system*), entre otros (17). De estos dos sistemas de cultivo acuícola, el BFT ha ganado mucho interés a nivel mundial debido a que es considerado un sistema amigable y sostenible con el medio ambiente (20,21,22). El mismo consiste en agregados de comunidades microbianas en forma de flocúlos integrados por bacterias, fitoplancton, materia orgánica e inorgánica, generados fácilmente en los estanques; bajo condiciones de alta oxigenación en el agua de forma constante y suplementación con fuentes ricas en carbono; brindándole condiciones para ejercer control de la calidad del agua, mediante procesos naturales (metabolismo de oxígeno y nitrógeno), realizados por bacterias, fitoplancton y algunas microalgas; los cuales captan e inmovilizan el amoníaco producido en el estaque, (procesos de nitrificación), para producir proteína bacteriana de excelente calidad, fácilmente aprovechable por los peces, que reincorporada a la cadena alimenticia del estanque maximiza la producción de carne de pescado por unidad de área; con utilización mínima del recurso agua (sistemas de casi nulo recambio de agua) por lo que disminuye la posibilidad de la entrada de patógenos y enfermedades al estanque, mejorando la bioseguridad por su actividad como controlador de poblaciones de bacterias patógenas (17). En este contexto, al ser una especie considerada de hábitos alimenticio fitoplanctófaga (23), la tilapia podría adaptarse bien al entorno de los bioflocs, alimentándose de los flocs en suspensión (21). La

aplicación de la tecnología BFT en el cultivo de tilapia se inició a principios de la década de 2000. Desde entonces, se han logrado avances significativos en el cultivo de tilapia basado en este tipo de sistema en particular (22). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución total de alimento balanceado comercial por HM en el rendimiento productivo de juveniles la tilapia del Nilo en el sistema BFT.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del trabajo

El presente ensayo nutricional se realizó en una estación acuícola ubicada en los laboratorios de la Facultad de Recursos Naturales, cátedra de acuicultura de la carrera ingeniería zootecnista, en la ciudad Formosa, Provincia de Formosa, Argentina, en las coordenadas -26.191822, -58.206265.

Dieta, peces y diseño experimental

Un total de 120 juveniles de tilapia del Nilo (peso inicial [PC] comprendido entre $30,46 \pm 0,63$ g) fueron utilizados en el experimento. El ensayo se realizó en 6 tanques de plástico de 240 L de capacidad cada uno (220 L volumen de uso), previamente acondicionados y preparados al inicio del ensayo nutricional. Las seis unidades contaron con sistema de aireación propios. Diariamente se realizó un registro y control de la mortalidad en cada tanque, así como también de la cantidad de balanceado suministrado y no ingerido. El fotoperiodo fue natural según la época del año (noviembre – enero). Los peces fueron alimentados con una tasa de alimentación del 4%, a razón de 4 tomas por día y las dietas fueron distribuidas de forma manual. Las dietas experimentales utilizadas en este ensayo fueron recibidas y almacenadas en una cámara frigorífica a 4 °C para evitar su oxidación durante todo el ensayo (61 días) (Tabla 1). El ensayo nutricional contó con dos tratamientos; **Dieta A (Control)**: peces alimentados con alimento balanceado comercial (45% de proteína) (densidad 60 peces de $29,93 \pm 0,21$ g promedio) (n = 20 peces/tanque); **Dieta B (Larvas)**: peces alimentados con larvas de insectos en forma de harina/polvo (47% de proteína) (densidad 60 peces de $31,06 \pm 1,05$ g promedio) (n = 20 peces/tanque). Justo antes del comienzo del ensayo, todos los animales (120, 20 peces/tanque) fueron medidos individualmente en términos de peso corporal (PC) y se distribuyeron homogéneamente entre los 6 tanques experimentales.

Tabla 1. Composición experimental de las dietas.

Composición proximal	Dieta A	Dieta B
Proteína bruta %	45,00	47,00
Grasa bruta %	14,00	29,00
Fibra, %	3,00	3,00
Ceniza, %	14,00	5,00

El sistema BFT y los parámetros de calidad de agua

El inóculo de biofloc utilizado en el presente ensayo se obtuvo de un ensayo paralelo de BFT realizado con otras tilapias. Se agregaron 140 L del inóculo mencionado y 80 L de agua dulce a cada tanque de BFT. Para promover el crecimiento del biofloc, se estimuló la actividad de las bacterias heterótrofas y quimioautótrofas con la adición diaria de azúcar común refinado (46% C). Para calcular la cantidad de carbohidratos a añadir en cada tanque de BFT se siguió el criterio recomendado por Avnimelech (24), y Kubitza (20), en el que se recomienda una relaciones C:N entre 20:1 y 15:1.

Los parámetros de calidad del agua como la temperatura, el oxígeno disuelto (OXI330, Crison Instruments), y el pH (pHmeter 507, Crison Instruments) se midieron diariamente, mientras que el amoníaco total, el nitrito (Alcon®, Labcon®, Camboriú, Brasil) y, los sólidos suspendidos totales (SST) se determinaron cada tres días. Las mediciones de sólidos en suspensión se realizaron mediante el método gravimétrico, que mide el total de sólidos en suspensión y los sólidos sedimentables dentro de un cono Imhoff (25); para ello, se vertieron muestras de agua (1 L) en el cono Imhoff y se dejaron sedimentar los sólidos en suspensión durante 25 min (Figura 1).



Figura 1. Vista del cono Imhoff utilizado para la evaluación periódica de los sólidos en suspensión en el sistema.

Parámetros zootécnicos

Cada 15 días se tomaron muestras aleatorias de 10-15 juveniles por tanque, y se pesaron con una precisión de 0,1 g para comprobar su tasa de crecimiento y reajustar la cantidad de alimento que debía ofrecerse en función de la biomasa estimada. Al final del experimento, el total de individuos (N = 120 peces) de cada unidad experimental (3 réplicas por dieta; n = 20 peces/tanque) de BFT fueron medidos en cuanto a su PC con una precisión de 0,1 g. La ingesta de pellets del balanceado comercial no pudo medirse directamente en los tanques de BFT debido a la turbidez del agua (altos niveles de SST) y a la fuerte aireación del agua. El rendimiento productivo de los peces se evaluó mediante los siguientes índices: crecimiento = peso medio final - peso medio inicial; tasa de crecimiento específico en PC (SGR_{pc} , %) = $[(\ln PC_f - \ln PC_i) \times 100] / \text{tiempo (d)}$; donde PC_f y PC_i corresponden a PC final e inicial.

Análisis estadístico

Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. Todos los datos obtenidos de los parámetros zootécnicos mencionados anteriormente se evaluaron con una prueba "t" de student ($P < 0,05$) para determinar si existen diferencias significativas entre los grupos experimentales (D1 Control; D2 Larvas). Los análisis estadísticos se realizaron con Graph Pad Prism V.8.1. Software (GraphPad Software, San Diego, EE.UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se evaluó el efecto de una dieta a base de larvas de insecto en formato de molienda, en específico, la mosca soldado negro y, una dieta control comercial, sobre el rendimiento del crecimiento de los peces en un sistema biofloc.

Todos los parámetros de calidad del agua registrados (Tabla 2) tuvieron valores estables y se mantuvieron dentro del rango considerado apropiado para la mayoría de las especies de agua dulce (17,26), incluidas las tilapias del Nilo (20).

Tabla 2. Parámetros físico-químicos del agua, oxígeno disuelto (mg/L), pH y nitrito, amonio y amoníaco durante los 61 días del ensayo nutricional.

Parámetros del agua	Tratamientos	
	Control	Larvas
Oxígeno (mg/L)	6,91 \pm 0,57	6,81 \pm 0,49
Temperatura ($^{\circ}$ C)	26,57 \pm 1,78	26,76 \pm 1,91
pH	6,91 \pm 0,61	7,06 \pm 0,41
Nitrógeno amoniacal total (mg/L)	1,42 \pm 0,50 a	0,82 \pm 0,30 b
Amoníaco (NH ₃) (mg/L)	0,02 \pm 0,02	0,02 \pm 0,02
Nitrito (NO ₂) (mg/L)	1,02 \pm 0,54	0,81 \pm 0,40

Los valores se expresan con su media \pm desviación estándar (SD) (n = 3 tanques). Diferentes letras muestran diferencias significativas entre dietas ($P < 0,05$).

Parámetros físicos y químicos del agua como son la temperatura y pH no presentaron diferencias entre tratamientos ($P > 0,05$), encontrándose así dentro de los rangos óptimos para su respectivo crecimiento de la tilapia, el rango de confort térmico ideal está entre 26 y 30 $^{\circ}$ C, y el pH debe mantenerse entre 6,50 y 8,50 (20).

En los sistemas de cultivo BFT, el amoníaco se controla generalmente mediante la aplicación de varias fuentes de carbono orgánico (24,27). Los sistemas BFT son conocidos por su capacidad de eliminar los residuos nitrogenados a través de procesos de nitrificación y desnitrificación; así, las comunidades microbianas de los bioflocs previenen la acumulación de compuestos nitrogenados tóxicos para los organismos (28).

Bajo las condiciones experimentales del estudio realizado, se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos en términos de concentraciones de amonio total (1,42 \pm 0,50 mg NH₄⁺/L vs. 0,82 \pm 0,30 NH₄⁺/L, respectivamente; $P < 0,05$). La disminución de las concentraciones de amonio total en el grupo alimentado con larvas de *H. illucens* (0,82 \pm 0,30 NH₄⁺/L) puede atribuirse a varios factores relacionados con la composición nutricional de esta dieta y la dinámica del sistema BFT.

Las larvas de mosca soldado negro son conocidas por su alto contenido proteico y perfil de aminoácidos balanceado, lo cual podría mejorar la eficiencia de la asimilación de nutrientes por parte de los peces y, en consecuencia, reducir la excreción de compuestos nitrogenados como el amonio (14), explicando así en parte las diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, respecto a las concentraciones de NH₃, no se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$). Teniendo en cuenta, que el producto más tóxico para los peces es NH₃ y no NH₄⁺ (29), esto podría ayudar a comprender los resultados obtenidos en nuestro experimento en cuanto al rendimiento productivo.

Dado que, al final del ensayo no se observaron diferencias significativas en el peso final entre ambos tratamientos (73,50 \pm 2,29 g frente a 73,39 \pm 1,90 g respectivamente; $P > 0,05$) (Figura 2).

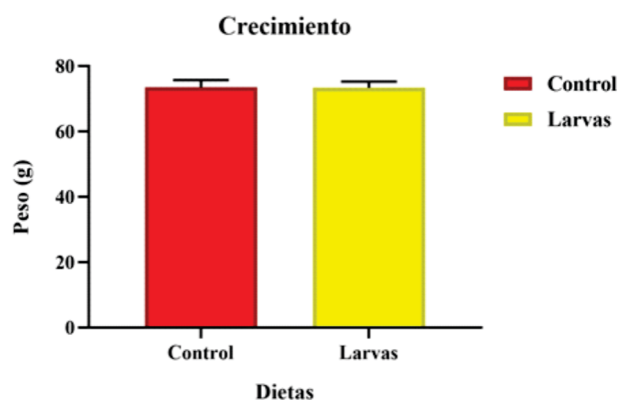


Figura 2. Crecimiento (peso final) de tilapias (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con las distintas dietas ($P > 0,05$).

Como se mencionó anteriormente, no se encontraron diferencias entre los tratamientos en cuanto al NH_3 , considerado tóxico para los peces y que afecta principalmente su crecimiento somático óptimo (30). Este hallazgo facilita la interpretación de nuestros resultados. De hecho, en la tilapia y en otros peces de agua dulce, como el panga (*Pangasius hypophthalmus*), se ha observado una disminución en el crecimiento cuando están expuestos a diferentes concentraciones de NH_3 (31). Además, dicha disminución en el crecimiento somático fue acompañada de un aumento en la mortalidad de los peces (31).

Por el contrario, en nuestro estudio no se observaron mortalidades durante los 61 días del ensayo nutricional (Tabla 2). En este sentido, los bajos niveles de amoníaco encontrados en cada uno de los seis tanques de BFT junto con cambios mínimos en los valores de pH y alcalinidad del agua, indicaron que, bajo las condiciones experimentales actuales, el control del amoníaco se logró principalmente a través de la vía heterótrofa, garantizando una adecuada calidad del agua en cuanto al nivel de este compuesto nitrogenado (32,33). En este sentido, todos los sólidos que permanecen en los tanques de BFT, así como el carbono orgánico y el nitrógeno del balanceado y las heces, están disponibles para la producción de bacterias heterótrofas. Como describieron Ebeling et al. (33), dado que la energética de las bacterias heterótrofas es más favorable que la de las bacterias autótrofas, se asume que las bacterias heterótrofas consumirán primero el nitrógeno disponible utilizando el carbono lábil y fácilmente disponible del balanceado y las heces. El control del amoníaco por la vía heterótrofa en los sistemas BFT aumenta considerablemente la producción de sólidos en suspensión, debido principalmente al aumento de la biomasa bacteriana heterótrofa, ya que las bacterias

heterótrofas producen hasta 40 veces más biomasa que las bacterias nitrificantes (33). Los bajos niveles de nitritos ($1,02 \pm 0,54 \text{ mg/L}$ vs. $0,81 \pm 0,40 \text{ mg/L}$) encontrados en nuestro ensayo nutricional en los tanques de BFT, los cuales alcanzaron valores cercanos a los niveles tóxicos para la tilapia (34), indicaban que la nitrificación autótrofa también tenía lugar, pero en una magnitud mucho menor que en la vía heterótrofa (33,34), teniendo en cuenta que, en el presente estudio no se determinó su proporción en relación con las bacterias heterótrofas aerobias. Además, es de suma importancia, ya que el nitrito (NO_2^-) en los peces oxida la hemoglobina a metahemoglobina con la consiguiente reducción de la capacidad de transporte de oxígeno y de la afinidad por el oxígeno (35). Asimismo, resultados en términos de rendimiento de crecimiento (PC, como hemos mencionado anteriormente) y condición corporal (tasa de crecimiento específico) sugirieron que la presencia de grandes cantidades de sólidos en suspensión no interfirió con la palatabilidad del alimento o la sensibilidad olfativa de las tilapias (36). En específico, en cuanto a la tasa específica de crecimiento (SGR) de los peces alimentados con los tratamientos, no registraron diferencias significativas ($\text{SGR} = 1,47 \pm 0,05\% \text{ día}^{-1}$ vs. $1,40 \pm 0,09\% \text{ día}^{-1}$; respectivamente, $P > 0,05$). El SGR es una medida del aumento de PC porcentual por día en peces. Dicha tasa de crecimiento específico se utiliza para estimar el crecimiento de los peces, y así evaluar el crecimiento y ajustar la alimentación en consecuencia (37). Por lo tanto, estos resultados sugieren que la materia orgánica producida dentro del sistema de biofloc satisfizo los requerimientos nutricionales de los juveniles de tilapia y favoreció su crecimiento (33,34), y por lo que, confirman así el beneficio de las partículas de biofloc en términos de rendimiento y condición de crecimiento de los peces (21,24).

En los últimos tiempos, el uso de molienda de larvas de mosca soldado negro como fuente potencial de proteína en dietas para tilapia ha sido objeto de investigación (9, 10, 11, 12, 13, 14). Al mismo tiempo, los resultados del presente estudio ilustran que los peces alimentados con el reemplazo total del balanceado comercial por la HM no tuvieron efectos adversos sobre el desempeño del crecimiento, los índices somáticos y la tasa de supervivencia de la tilapia del Nilo (Figura 2; $P > 0,05$). En este contexto, diversos son los estudios que han demostrado concordancia con nuestros resultados. Por ejemplo, se ha visto que en tilapias monosexo alimentadas con dietas que sustituyeron el 50% de la harina de pescado (FM) por HM presentaron un crecimiento comparable al del grupo de control (38). Asimismo,

Dietz y Liebert (39) también demostraron que la inclusión de un 50% de HM como sustituto del concentrado de proteína de soja no comprometió el rendimiento productivo de la tilapia del Nilo. Igualmente, no observaron efectos negativos sobre el crecimiento de tilapias del Nilo alimentadas durante 32 días con dietas que contenían hasta 80 g de HM por kg en comparación con la dieta control sin HM (40). Toriz-Roldan et al. (41) demostraron que la inclusión de HM al 6% en la dieta no afectó el crecimiento de tilapias del Nilo, pero mejoró el índice de eficiencia proteica. Por otro lado, en otras especies de peces con interés comercial, como por ejemplo el salmón del Atlántico alimentado con dietas que contenían hasta 200 g kg⁻¹ de HM mostró un crecimiento similar al grupo control (10). De manera análoga, no se observaron diferencias significativas en el crecimiento ni en la tasa de supervivencia de la lubina europea alimentada con dietas que contenían hasta un 50% de HM (7). Resultados que están en concordancia con los observados y descritos en el presente estudio donde no se registraron diferencias a nivel de peso final. Dichos hallazgos podrían atribuirse en parte a la capacidad de la tilapia del Nilo para utilizar eficientemente una variedad de fuentes alimenticias debido a su naturaleza omnívora. La tilapia del Nilo tiene una gran capacidad para alimentarse de plancton y otros organismos presentes en el sistema biofloc, lo que podría haber contribuido a mantener un crecimiento óptimo incluso con la sustitución del balanceado comercial. Además, la presencia de quitina en las larvas de *H. illucens* podría ser degradada eficazmente por la tilapia del Nilo, gracias a sus enzimas quitinolíticas, que juegan un papel crucial en la fisiología digestiva de esta especie (42,43). Conjuntamente, la capacidad de la tilapia del Nilo para degradar la quitina y aprovechar los nutrientes presentes en las larvas de *H. illucens* sugiere que esta especie posee una flexibilidad dietética que le permite mantener su rendimiento de crecimiento bajo diferentes regímenes alimenticios. Esto es particularmente relevante en sistemas biofloc, donde la disponibilidad de microorganismos y detritos orgánicos puede complementar la dieta principal, mejorando la eficiencia alimenticia general (24). Estos resultados en términos de crecimiento son de especial relevancia debido a nulo contenido de FM en la Dieta B, en comparación con la Dieta A (Control), apoyando de esta manera el cambio de paradigma de la industria hacia la formulación de dietas menos dependientes de materias primas derivadas de la pesca como la FM (44).

Por último y no menos importante, al final del ensayo a los 61 días, la supervivencia fue similar entre los grupos, con valores entre el 100,0 y el

100,0% ($P > 0,05$) en ambos tratamientos. Estos resultados son de suma importancia considerando que estudios previos han reportado mortalidades bajo condiciones similares de laboratorio, en el sistema biofloc (45,46). En un experimento con tilapia roja (*Oreochromis spp.*), Putra et al. (46) han demostrado que, cuando juveniles de dicha especie fueron expuestos durante 40 días a un sistema biofloc, registraron una supervivencia de 82,22 % \pm 1,92. Asimismo, en un ensayo entre tres especies comerciales de tilapia en un sistema biofloc, se ha observado una mortandad durante el experimento (45). Por otro lado, los resultados de este experimento están en concordancia con los observados y descritos según Ekasari et al. (21), donde la supervivencia de alevines de tilapia del Nilo provenientes de los tanques con BFT, fue superior a la de las larvas de origen control (98% vs. 75%, respectivamente). Por lo tanto, la alta tasa de supervivencia bajo las condiciones experimentales de este ensayo subraya la efectividad de las dietas alternativas, como es el caso del uso de larvas de insecto de mosca soldado negro y del sistema BFT en la cría de tilapia, abriendo así nuevas posibilidades para la sostenibilidad en la acuicultura. Esto puede explicarse en parte, por lo mencionado anteriormente, en cuanto a que residuos de la acuicultura derivados de la comida sobrante o del metabolismo de los peces en las técnicas de biofloc son utilizados por los microbios del BFT para que puedan mejorar así la calidad del agua. Según Padeniya et al. (47), la calidad del agua puede mejorar debido a que las bacterias del género *Bacillus* no solo mantienen su población, sino que proliferan al adicionarse una fuente de carbono, como el azúcar. En condiciones *in situ*, estas bacterias son efectivas en la descomposición de materiales orgánicos, lo que contribuye a mantener la calidad del agua en niveles óptimos para el ecosistema acuático y la vida de los peces (47).

Considerando que la acuicultura suministrará la mayor parte de la proteína dietética acuática para el año 2050, desempeñando así un papel relevante en la seguridad y el suministro de alimentos y en la mitigación de la pobreza (48). El crecimiento sostenido de la acuicultura depende, por lo tanto, en gran medida de la intensificación de la producción (49), mediante sistemas innovadores como es el BFT por todas las virtudes positivas tanto con el medio ambiente y en la zootecnia que posee dicha tecnología como hemos mencionado a lo largo de este estudio (17). En la actualidad, el volumen de harinas de insectos sigue siendo mínimo, pero va en aumento. La producción de harinas de insectos en los próximos años seguirá siendo pequeña en comparación con otros ingredientes de los alimentos acuícolas. Sin

embargo, es probable que la industria de la cría de insectos progrese en los próximos 10 años, para que así en un futuro cercano se obtenga dichas harinas y hagan de este rubro más ecológico y rentable (50). Por lo tanto, el aporte del presente ensayo respecto a los resultados logrados y las posibilidades de desarrollo y mejora del uso de larva de mosca soldado negro en la industria acuícola como alimento bajo condiciones de biofloc nos abre un abanico de líneas de investigación que hagan de la acuicultura un sector cada vez más seguro para el consumidor y a su vez, sostenible y respetuoso con el medioambiente.

CONCLUSIÓN

En conjunto, los datos sugieren que no existen diferencias significativas entre ambos tratamientos en el rendimiento productivo de los peces. La dieta en base a larvas de mosca soldado negro no incide de forma significativa en el crecimiento somático de los peces ($P > 0,05$), como tampoco en la tasa específica de crecimiento. Los peces alimentados con la dieta de insectos demostraron mayor porcentaje de distribución de tallas entre la media de peso que comprende 75-80 gramos a los 61 días de ensayo nutricional. Además, el sistema biofloc demostró ser eficaz en cuanto a la calidad de agua, manteniendo todos los parámetros físico-químicos en óptimas condiciones. En general, este estudio demuestra que las larvas de mosca soldado negro pueden utilizarse como un alimento seguro para la tilapia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Tacon A.G.J. (2022). Contribution of Fish and Seafood to Global Food and Feed Supply: An Analysis of the FAO Food Balance Sheet for 2019. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 31: 274 - 283 . <https://doi.org/10.1080/23308249.2022.2124364>
2. Tran H.Q., Nguyen T.T., Prokešová M., Gebauer T., Van Doan H., Stejskal V. (2022). Systematic review and meta-analysis of production performance of aquaculture species fed dietary insect meals. *Reviews in Aquaculture* 14: 1637-1655. <https://doi.org/10.1111/raq.12666>.
3. Munguti J., Wekesa F., Osuga I., Kariuki M., Yossa R., Mungai D., et al. (2024). Utilization of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae as a Potential Substitute for Fish Meal in the Production of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Sustainable Agriculture Research* 13: 1-2024. <https://doi.org/10.5539/sar.v13n1p40>.
4. van Huis A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology* 58: 563 - 583 . <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>.
5. Henry M., Gasco L., Piccolo G., Fountoulaki E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology* 203: 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>.
6. Liland N.S., Araujo P., Xu X.X., Lock E.J., Radhakrishnan G., Prabhu A.J.P., Belghit I. (2021). A meta-analysis on the nutritional value of insects in aquafeeds. *Journal of Insects as Food and Feed* 7: 743 - 759 . <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0147>.
7. Diener S., Zurbrugg C., Tockner K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research* 27: 603-610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>.
8. Melenchón F., de Mercado E., Pula H.J., Cardenete G., Barroso F.G., Fabrikov D., Lourenço H.M., Pessoa M.F., Lagos L., Weththasinghe P., et al. (2022). Fishmeal Dietary Replacement Up to 50%: A Comparative Study of Two Insect Meals for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals* 12, 179. <https://doi.org/10.3390/ani12020179>.
9. Belghit I., Liland N.S., Gjesdal P., Biancarosa I., Menchetti E., Li Y., Waagbø R., Krogdahl Å., Lock E.J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503: 609 - 619 . <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.032>.
10. Fisher H., Collins S.A., Hanson C., Mason B., Colombo S., Anderson D. (2020). Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 521, 734978. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734978>.
11. Wang G., Peng K., Hu J., Yi C., Chen X., Wu H., Huang Y. (2019). Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets. *Aquaculture* 507: 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.023>.
12. Abdel-Ghany H.M., & Salem M.E. (2019). Effects of dietary chitosan supplementation on farmed fish; a review. *Reviews in Aquaculture* 12: 438-452. <https://doi.org/10.1111/raq.12326>.
13. Yildirim-Aksoy M., Eljack R., Schrimsher C., Beck B.H. (2020). Use of dietary frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in hybrid tilapia (Nile x Mozambique, *Oreochromis niloticus* x *O. mozambique*) diets improves growth and resistance to bacterial diseases. *Aquaculture Reports* 17, 100373 . <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100373>.
14. Tippayadara N., Dawood M.A.O., Krutmuang P., Hoseinifar S.H., Doan H.V., Paolucci M. (2021). Replacement of Fish Meal by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal: Effects on Growth, Haematology,

- and Skin Mucus Immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Animals* 11, 193. <https://doi.org/10.3390/ani11010193>.
- 15.FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- 16.Prabu E., Rajagopalsamy C.B.T., Ahilan B., I., et al. (2019). Tilapia – An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. *Annual Research & Review in Biology* 31: 1 - 14. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2019/v31i330052>.
- 17.Zimmermann S., Kiessling A., Zhang J. (2023). The future of intensive tilapia production and the circular bioeconomy without effluents: Biofloc technology, recirculation aquaculture systems, bio-RAS, partitioned aquaculture systems and integrated multitrophic aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 15: 22-31. <https://doi.org/10.1111/raq.12744>.
- 18.El-Sayed A.F.M. (2020). Tilapia Culture. 2nd ed., CABI Publishing. ISBN-13: 978-0128165096.
- 19.Arumugam M., Jayaraman S., Sridhar A., Venkatasamy V., Brown P.B., Abdul Kari Z., Tellez-Isaias G., Ramasamy T. (2023). Recent Advances in Tilapia Production for Sustainable Developments in Indian Aquaculture and Its Economic Benefits. *Fishes* 8: 176. <https://doi.org/10.3390/fishes8040176>.
- 20.Kubitza, F. (2011). Criação de tilapias em sistemas com bioflocos sem renovação de água. *Panorama da Aquicultura* 125: 14-23.
- 21.Ekasari, J., Rivandi D.R., Firdausi A.P., Surawidjaja E.H., Zairin M., Bossier P., De Schryver P. (2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture* 441: 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.019>.
- 22.Ekasari J., Napitupulu A.D., Djurstedt M., Wiyoto W., Baruah K., Kiessling A. (2023). Production performance, fillet quality and cost effectiveness of red Tilapia (*Oreochromis* sp.) culture in different biofloc systems. *Aquaculture* 563: 738956. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738956>.
- 23.Modadugu V., Gupta and Belen O. Acosta. (2004). A review of global tilapia farming practices. *Semantic Scholar*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:11772634>.
- 24.Avnimelech Y. (2009). Biofloc Technology: A Practical Guide Book; World Aquaculture Society: Baton Rouge, NM, USA, 2009.
- 25.Vinatea L., Malpartida J., Carbó R., Andree K.B., Gisbert E., Estévez A. (2018). A comparison of recirculation aquaculture systems versus biofloc technology culture system for on-growing of fry of Tinca tinca (Cyprinidae) and fry of grey Mugil cephalus (Mugilidae). *Aquaculture* 482: 155 - 161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.041>.
- 26.Boyd, C. (1990). Water quality in ponds aquaculture. In Alabama Agricultural Experiment Station; Auburn University: Auburn, AL, USA, 1990. Available online: <http://hdl.handle.net/11200/49690>.
- 27.Avnimelech Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176: 227-235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X).
- 28.Robles-Porchas G.R., Gollas-Galván T., Martínez-Porchas M., Martínez-Cordova L.R., Miranda-Baeza A., Vargas-Albores F. (2020). The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 12: 2228 - 2249. <https://doi.org/10.1111/raq.12431>.
- 29.Randall D.J., Tsui T.K. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin* 45: 17-23. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8).
- 30.Xu Z., Cao J., Qin X., Qiu W., Mei J., Xie J. (2021). Toxic Effects on Bioaccumulation, Hematological Parameters, Oxidative Stress, Immune Responses and Tissue Structure in Fish Exposed to Ammonia Nitrogen: A Review. *Animals* 11: 1-19. <https://doi.org/10.3390/ani11113304>.
- 31.Silva F.J.L., Lima F.R.S., Vale D.A., Sá M.V.C. (2017). High levels of total ammonia nitrogen as NH₄⁺ are stressful and harmful to the growth of Nile tilapia juveniles. *Acta Scientiarum - Biological Sciences* 35: 475-481. <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v35i4.17291>.
- 32.Ebeling J.M., Timmons M.B. Bisogni J.J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257: 346 - 358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>.
- 33.Brandão H.; Xavier Í.V.; Santana G.K.K.; Santana H.J.K.; Krummenauer D.; Wasielesky, W. (2021). Heterotrophic versus mixed BFT system: Impacts on water use, suspended solids production and growth performance of *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering* 95: 102194. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102194>.
- 34.Yanbo W., Wenju Z., Weifen L. et al. (2006). Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. *Fish Physiology and Biochemistry* 32: 49 - 54. <https://doi.org/10.1007/s10695-005-5744-2>.
- 35.Jensen F.B. (2003). Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 135A: 9 - 24. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(02\)00323-9](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(02)00323-9).
- 36.Kumari S., Harikrishna V., Suraani V.K.R., Balange A.K., Babitha Rani A.M. (2021). Growth, biochemical indices

- and carcass quality of red tilapia reared in zero water discharge based biofloc system in various salinities using inland saline ground water. *Aquaculture* 540: 736-743. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736730>.
37. Lugert V., Georg T., Jen T., Carsten S., Joachim, K. (2016). A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. *Reviews in aquaculture* 8: 30-42. <https://doi.org/10.1111/raq.12071>.
38. Rana K.S., Salam M., Hashem S., Islam M.A. (2015). Development of black soldier fly larvae production technique as an alternate fish feed. *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture* 5: 41-47.
39. Dietz C., & Liebert F. (2018). Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? *Aquaculture Reports* 12: 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.09.001>.
40. Devic E., Leschen W., Murray F., Little D.C. (2017). Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquaculture Nutrition* 24: 416-423. <https://doi.org/10.1111/anu.12573>.
41. Toriz-Roldan A., Ruiz-Vega J., García-Ulloa M., Hernández-Llamas A., Fonseca-Madriral J., Rodríguez-González H. (2019). Assessment of Dietary Supplementation Levels of Black Soldier Fly, *Hemertia illucens*, Pre-Pupae Meal for Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Southwest Entomologist* 44: 251-259. <https://doi.org/10.3958/059.044.0127>.
42. Fontes T.V., Oliveira K.R.B., Almeida I.L.G., Orlando T.M.M., Rodrigues P.B., Da Costa D.V., Rosa P.V.E. (2019). Digestibility of Insect Meals for Nile Tilapia Fingerlings. *Animals* 9: 181. <https://doi.org/10.3390/ani9040181>.
43. Krogdahl A., Hemre G.I., Mommsen T. (2005). Carbohydrates in fish nutrition: Digestion and absorption in postlarval stages. *Aquaculture Nutrition* 11: 103-122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00327.x>.
44. Froehlich H.E., Jacobse N.S., Essington, T.E., Clavelle T., and Halpern B.S. (2018). Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nature Sustainability* 1: 298-303. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0077-1>.
45. Day S.B., Salie K. & Stander H.B. (2016). A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system. *Aquaculture International* 24: 1309-1322. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9986-z>.
46. Putra I., Effendi I., Lukistiyowati I., Tang U. (2019). Growth and Survival Rate of Red Tilapia (*Oreochromis Sp.*) Cultivated in the Brackish Water Tank under Biofloc System. *Advances in Engineering Research* 96-99. <https://doi.org/10.2991/iccelst-st-19.2019.19>.
47. Padeniya U., Davis D.A., Wells D.E., Bruce T.J. (2022). Microbial Interactions, Growth, and Health of Aquatic Species in Biofloc Systems. *Water* 14: 4019. <https://doi.org/10.3390/w14244019>.
48. Stentiford G.D., Sritunyalucksana K., Flegel T.W., et al. (2017). New paradigms to help solve the global aquaculture disease crisis. *PLoS Pathogens* 13: e1006160. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006160>.
49. Little D.C., Young J.A., Zhang W., Newton R.W., Al Mamun A., and Murray F.J. (2018). Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: A framework for understanding impacts and challenges. *Aquaculture* 493: 338-54. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.033>.
50. Alfiko Y., Xie D., Astuti R.T., Wong J., Wang L. (2022). Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries* 7: 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.00>.