

EFECTO DE ALIMENTO BALANCEADO CON INSUMOS ALTERNATIVOS SOBRE EL METABOLISMO AEROBIO DE TILAPIA DEL NILO

EFFECT OF FISH FEED BALANCED WITH ALTERNATIVE INGREDIENTS
ON NILE TILAPIA AEROBIC METABOLISM

Mónica Vanessa Oviedo Olvera
Ana Angélica Feregrino Pérez
María Isabel Nieto Ramírez
Marta Montserrat Tovar Ramírez
Juan Fernando García Trejo*

Universidad Autónoma de Querétaro, México

*fernando.garcia@uaq.mx



Resumen

La acuicultura ha optado por la formulación de nuevos alimentos con ingredientes alternativos a la harina de pescado con el fin de mantener su acelerado desarrollo y sustentabilidad. Entre los insumos más relevantes se encuentran las microalgas y la larva de mosca soldado negra gracias a su contenido de macro y micronutrientes. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de un alimento balanceado con estos insumos sobre el metabolismo aerobio de la tilapia del Nilo. La inclusión de ambos insumos alternativos disminuyó el consumo de oxígeno y la excreta de amonio en los peces, lo que se relaciona con un mejor aprovechamiento de la proteína por el organismo. Asimismo, ambas variables están involucradas en la condición de estrés, por lo que el cambio de alimentación en las tilapias a las dietas experimentales también disminuyó este factor. Las microalgas y larva de mosca soldado negra resultaron ser insumos alternativos viables para el desarrollo de alimentos acuícolas sin afectar el crecimiento y metabolismo de los peces.

Palabras clave: acuicultura, larva de mosca soldado negra, microalgas, nutrición acuícola.

Abstract

Aquaculture has opted for the formulation of new feeds with alternative ingredients to fishmeal in order to maintain its accelerated development and sustainability. Among the most relevant inputs are microalgae and black soldier fly larvae due to their macro and micronutrient content. The objective of this work was to analyze the effect of a balanced feed with these inputs on the aerobic metabolism of Nile tilapia. The inclusion of both alternative inputs decreased oxygen consumption and ammonium excretion in fish, which is related to a better usage of protein by the organism. Likewise, both variables are involved in the stress condition, so the change of feeding the tilapia to the experimental diets also decreased this factor. Microalgae and black soldier fly larvae proved to be viable alternative inputs for the development of aquafeeds without affecting the growth and metabolism of the fish.

Keywords: aquaculture, fish nutrition, microalgae, black soldier fly larvae.

Introducción

La acuicultura, la técnica de producción de organismos y plantas acuáticas bajo sistemas controlados, ha sido el sector primario productivo con mayor desarrollo en los últimos años, con una tasa de crecimiento del 5.8 % anual [1]. Para mantener su progreso y garantizar su sustentabilidad, uno de los criterios más importantes a trabajar es el desarrollo y optimización de nuevos alimentos [2], debido a que en los alimentos acuícolas la principal fuente de proteína es la harina de pescado. Este recurso se obtiene por medio de la pesca excesiva de especies pelágicas, causando daños a los ecosistemas marinos y arriesgando la sustentabilidad y rentabilidad de la industria alimentaria [3].

Por esta razón, se ha priorizado la búsqueda de nuevos ingredientes que cuenten con sustentabilidad, disponibilidad, valor nutricional y costos de producción asequibles que permitan su inclusión en los alimentos acuícolas. Asimismo, se persigue que los nuevos insumos logren reducir o reemplazar el contenido de harina de pescado, sin dejar de lado el desarrollo y nutrición de organismos acuáticos [4], [5]. Actualmente, las microalgas y la larva de mosca soldado negra han destacado como ingredientes alternativos para la alimentación de peces al cumplir con las características previamente mencionadas.

Diversas aplicaciones nutricionales explotan las microalgas (MA) debido a su contenido de macro y micro nutrientes como vitaminas, minerales, ácidos grasos poliinsaturados y aminoácidos esenciales [6]. Y actualmente existen reportes de MA como reemplazo y suplemento de fuentes pro-

teínicas en dietas para peces con resultados favorables en su desarrollo [7]. Por otro lado, la larva de mosca soldado negra (LMSN), gracias a su contenido de macronutrientes y minerales, ha tenido desempeños satisfactorios como insumo alternativo para especies como el salmón, trucha y tilapia [8]. No obstante, hasta el momento escasea el uso de ambos recursos en conjunto dentro del balance de alimentos acuícolas.

Si bien ya han sido expuestos con efectos benéficos en el crecimiento, utilización de nutrientes, digestibilidad, inmunología y reproducción de diversas especies [7], [9], los aspectos relacionados con el metabolismo de los peces permanecen en gran medida desconocidos. Ahondar en este tema resulta importante debido a su relación con el aprovechamiento de macronutrientes y permite indagar en el aporte y uso de energía proveniente de la alimentación [10].

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de dietas formuladas con larva de mosca soldado negro y microalgas como sustitutos totales de la harina de pescado sobre el metabolismo aerobio de alevines de tilapia del Nilo.

Metodología

Formulación y elaboración de dietas alternativas

Se balancearon seis dietas experimentales de acuerdo a los requerimientos nutricionales de *Oreochromis niloticus* en etapa de alevín. Se probaron tres porcentajes de inclusión de LMSN (5, 10 y 15 %) y dos niveles de contenido de proteína total (45 y 35 %); el contenido de MA se mantuvo en 5 % para todas las dietas. Para la formulación de las dietas se trazó un diseño factorial de tres niveles para la variable LMSN y dos para la variable proteína.

Para la elaboración de los alimentos se solicitó la harina de LMSN (*Hermetia illucens*) a la planta piloto de producción de mosca soldado negro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala. Por otra parte, la harina de MA (*Nannochloropsis limnetica*) fue proporcionada por el laboratorio de microalgas UAQ-Finka. Las dietas fueron balanceadas con harinas de origen animal y vegetal para cumplir los requerimientos de la tilapia. Tras la formulación, las harinas



fueron mezcladas, pelletizadas y secadas por 24 horas. En últimas, se proporcionaron molidas a los alevines.

Pruebas de alimentación

Se construyó un circuito de recirculación de agua para llevar a cabo las pruebas de alimentación. El sistema se conformaba de peceras con capacidad de 12 litros y con condiciones controladas de oxígeno (> 5 mg/l), temperatura (28 ± 3 °C) y pH (7-9). En cada pecera se introdujeron 30 tilapias de aproximadamente 1 gramo; las dietas se evaluaron por triplicado, dando un total de 90 organismos por alimento. Asimismo, se proporcionaron durante 45 días, 4 veces al día y ajustó la ración de alimento suministrado al 10 % de la biomasa del alevín.

Biometrías

Durante el tiempo de experimentación se monitoreó, una vez por semana, el crecimiento por medio de la toma de peso húmedo (g), longitud total y longitud patrón (mm) de los organismos utilizando una balanza de laboratorio (Precisa BJ610C) y un vernier electrónico (Mitutoyo Absolute IP67).

Respirometrías

Para el análisis del metabolismo aerobio de los peces se realizaron respirometrías al inicio y al final del experimento. Esta técnica consistió en la selección aleatoria de tres organismos por tipo de alimento; cada uno se introdujo individualmente en una cámara respirométrica semi-cerrada de 1000 cm³ a 28 °C para medir el oxígeno disuelto y la excreta de amonio por 24 horas. El oxígeno se cuantificó cada cuatro horas con un medidor multiparamétrico portátil (modelo H140d, marca Hach). Al mismo tiempo, el nitrógeno amoniacal se determinó por el método espectrofotométrico de Nessler (Método HACH 8038, 2010; adaptado de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500-NH₃ B & C*). El consumo de oxígeno y la excreta de amonio (OCR y AER, por sus siglas en inglés) fueron calculados de acuerdo a la siguiente ecuación a partir de los datos obtenidos (1):

$$\frac{((C_i - C_f) V)}{(DW * T)} \quad (1)$$

Donde, C_i es el consumo inicial de oxígeno o amonio, y C_f el valor de consumo final. $C_i - C_f$ indica la diferencia entre el contenido de oxígeno y amonio en las cámaras respirométricas (mg/l); V representa el volumen de la cámara (l); DW el peso seco del pez (g), y T el tiempo entre toma de muestras (h). La relación O:N, valor vinculado con el tipo de sustrato catabolizado por el pez durante las horas de la respirometría, fue calculada mediante la división del consumo de oxígeno entre la cantidad de amonio excretado.

Resultados y discusión

Dietas experimentales

Dado que el macronutriente de mayor interés para el desarrollo de alimentos es la proteína, se realizó el balance de dietas isoproteicas a 45 y 35 % utilizando harinas alternativas (LMSN y MA) como reemplazo total del pescado. Tales porcentajes se compararon debido a que, si bien se ha reportado que el contenido proteínico en la alimentación de peces en etapa alevín es de 45 %, aún se desconoce si el uso de harinas alternativas afecta el aprovechamiento de tal nutriente. La Tabla 1 muestra el balance de las dietas, incluyendo harinas vegetales y animales, así como la composición química aproximada que se obtuvo de forma teórica al momento de su realización. Las dietas fueron denominadas de acuerdo a su porcentaje de proteína (A45 y B35), seguido del porcentaje de inclusión de LMSN (5, 10 o 15).

TABLA 1.

Balance de dietas experimentales a partir de harinas alternativas para la alimentación de Tilapia del Nilo.

INGREDIENTES (%)	DIETAS BALANCEADAS					
	A45/5	A45/10	A45/15	B35/5	B35/10	B35/15
MA	5	5	5	5	5	5
LMSN	5	10	15	5	10	15
Harina carne	32	27	25.5	20	16	14
Soya	30	30	26.5	20	20	20
Gluten trigo	10	10	10	10	10	10



Salvado trigo	10	10	10	27	26	23
Maíz	5	5	5	10	10	10
Aceite <i>LMSN</i>	3	3	3	3	3	3
Composición química balanceada (%)						
Proteína	45.09	45.89	45.29	35.80	35.36	35.66
Grasas totales	10.83	11.84	13.23	9.88	10.93	12.24
Carbohidratos totales	16.04	16.71	17.06	30.04	30.07	28.81
Humedad	10.65	10.44	10.06	8.63	8.39	8.10
Cenizas	12.46	11.93	12.05	9.84	9.50	8.56

A45/B45 hacen referencia al contenido de proteína total en la dieta y los números 5, 10 y 15 indican el porcentaje de inclusión de *LMSN*.

Ambas harinas resultaron viables para la formulación de los alimentos experimentales, según [11] y [12] respecto a los porcentajes de inclusión y límites de reemplazo, así como sus efectos en la alimentación y desarrollo de los peces. Por ejemplo, [11] recomienda la inclusión de 5 % de *Nannochloropsis oculata* en la dieta para tilapia del Nilo, para aumentar la ganancia en peso, tasa específica de crecimiento y consumo de alimento. Por otro lado, [12], [13] apuntalan la adición de *LMSN* como sustitución parcial a la harina de pescado de 3 a 15 % en la dieta de tilapia del Nilo. En conclusión, ambos insumos permitieron el balance de dietas libres de harina de pescado.

Ganancia en peso

Se comparó la biomasa de los especímenes al inicio y al final del estudio en función de su dieta alternativa (Figura 1). Aunque se observó un aumento general en el peso de los organismos, las dietas A presentaron variaciones significativas durante el tiempo de experimentación, concretamente la A45/15. La A45/5 y B35/5 también destacan por su aumento en peso. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por [14], donde se aprovechó la harina de *LMSN* en la alimentación de bagre africano; dicha especie obtuvo una mayor ganancia en peso; no obstante, la *LMSN* se utilizó como sustituto parcial a la del pescado (a 11 y 17 %).

FIGURA 1.

Comparación del peso inicial y final de tilapias tras ser alimentadas con dietas alternativas. Las barras indican el error estándar y el asterisco marca las dietas con diferencia significativa (prueba de Fisher LSD: 95 % de confianza).

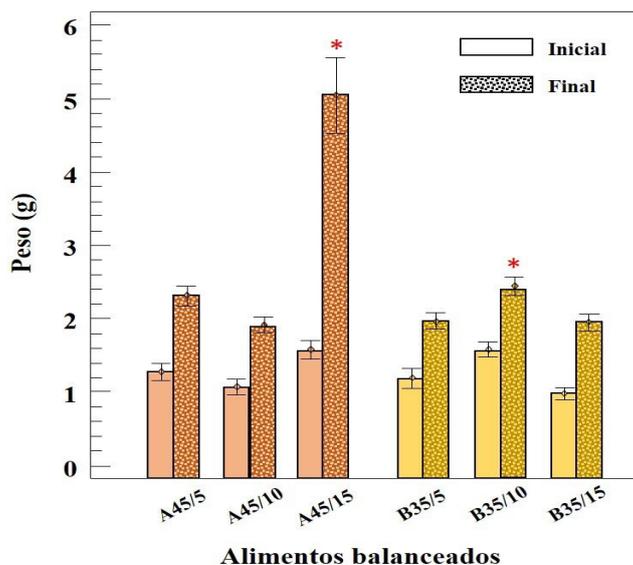


TABLA 2.

Comparación del consumo de oxígeno, excreta de amonio y relación O:N de tilapias al ser alimentadas con dietas alternativas.

Metabolismo aerobio

Respecto al consumo de oxígeno y excreta de amonio, la Tabla 2 muestra la comparación de los valores determinados durante 24 horas para las tilapias alimentadas con las diversas dietas experimentales. Se empleó el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher al 95 % de confianza para precisar las diferencias estadísticas significativas

DIETA	CONSUMO O ² (MG/L/H/G)	EXCRETA NH ³ (MG/L/H/G)	RELACIÓN O:N
A45/5	0.388 ± 0.05 ^a	0.0103 ± 0.002 ^a	25.05 ± 7.08 ^a
A45/10	0.417 ± 0.05 ^a	0.0106 ± 0.001 ^a	41.99 ± 12.50 ^a
A45/15	0.403 ± 0.01 ^a	0.0106 ± 0.002 ^a	30.86 ± 11.21 ^a
B35/5	0.403 ± 0.05 ^a	0.0106 ± 0.003 ^a	30.76 ± 5.42 ^a
B35/10	0.450 ± 0.04 ^a	0.01 ± 0.001 ^a	35.0 ± 11.46 ^a
B35/15	0.357 ± 0.01 ^b	0.0103 ± 0.003 ^a	65.11 ± 57.29 ^a

Los valores se presentan como promedios ± la desviación estándar. Los superíndices distintos indican una diferencia significativa: n=18.

De acuerdo a lo reportado por [15], las tilapias alimentadas a base de harina de pescado presentaron valores superiores a 1 mg/l en el consumo de oxígeno y entre 0.1 y 0.15 mg/l para la excreta de N amoniacal. Se puede observar que las dietas experimentales mostraron valores



acordes con el consumo de oxígeno y la excreta de amonio, indicando una menor condición de estrés al tener una alimentación libre de harina de pescado.

La relación O:N es un indicador del estrés y el metabolismo energético de los peces, ya que permite determinar qué componente utiliza el pez para obtener energía [16]. Cuando los valores de O:N se encuentran entre 3 y 16 se trata del catabolismo de proteínas; entre 17 y 50 se refieren a la oxidación de la mezcla de lípidos y proteínas; entre 50 y 60 relacionan con el catabolismo de proteínas-lípidos equivalentes, y aquellos superiores a 60, indican la oxidación de carbohidratos [10]. Los valores obtenidos sugieren que las dietas alternativas son catabolizadas por oxidación de lípidos/proteínas. Se comprende que, para los peces, es preferible un enfoque bioenergético debido a la oxidación de lípidos y proteínas, pues son los metabolitos que proporcionan mayor energía al organismo (39.5 kJ y 23.6k J, respectivamente) [10]. Por otra parte, la dieta A45/15, presentó un mayor crecimiento en comparación con las otras dietas alternativas, logrando una menor excreta de amonio; un nivel bajo de este parámetro se relaciona con el aprovechamiento de la proteína para la ganancia de biomasa. Al final, estos resultados concuerdan con lo reportado por [17].

Conclusiones

Las harinas de LMSN y MA resultaron ser dos alternativas potenciales para el reemplazo total de la harina de pescado en la formulación de alimentos acuícolas. El diseño experimental desarrollado en este trabajo comprueba que es posible añadirlas a la dieta de tilapia hasta en un 15 % y 5 % sin afectar el crecimiento del pez. Asimismo, las dietas alternativas promovieron la generación de energía a través de la oxidación de lípidos/proteínas; tal proceso aporta un mayor aprovechamiento calórico y una reducción de estrés en los organismos a partir del análisis del metabolismo aerobio de la tilapia del Nilo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro por facilitar sus instalaciones para la realización de la presente investigación. Asimismo, extienden su avenencia al Conacyt por el apoyo económico proporcionado a la estudiante de posgrado Mónica Vanessa Oviedo Olvera.



Referencias

- [1] FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. 2020.
- [2] K. Hua et al., "The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets", *One Earth*, vol. 1, no. 3, pp. 316-329, 2019. DOI: 10.1016/j.oneear.2019.10.018.
- [3] L. Gasco et al., "Feeds for the Aquaculture Sector", *Springer International Publishing*, Nueva York, NY, EUA, 2018.
- [4] R. Magalhães, A. Sánchez-López, R. S. Leal, S. Martínez-Llorens, A. Oliva-Teles, y H. Peres, "Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*)", *Aquaculture*, vol. 476, pp. 79-85, 2017. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.021.
- [5] C. Nasopoulou y I. Zabetakis, "Benefits of fish oil replacement by plant originated oils in compounded fish feeds. A review", *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 47, no. 2, pp. 217-224, 2012. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.01.018.
- [6] R. Sathasivam, R. Radhakrishnan, A. Hashem, y E. F. Abd Allah, "Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine", *Saudi Journal Biological Sciences*, vol. 26, no. 4, pp. 709-722, 2019. DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.11.003.
- [7] M. R. Shah et al., "Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry", *Journal of Applied Phycology*, vol. 30, no. 1, pp. 197-213, 2018. DOI: 10.1007/s10811-017-1234-z.
- [8] M. Henry, L. Gasco, G. Piccolo y E. Fountoulaki, "Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future", *Animal Feed Science Technology*, vol. 203, no. 1, pp. 1-22, 2015. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001.
- [9] K. Hua, "A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish", *Aquaculture*, vol. 530, no. 2020, 2021. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735732.
- [10] P. Mayzaud y R. Conover, "O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism", *Marine Ecology Progress Series*, vol. 45, pp. 289-302, Jun.1988. DOI: 10.3354/meps045289.
- [11] M. F. Abdelghany, H. B. El-Sawy, S. A. A. Abd El-Ha-

- meed, M. K. Khames, H. M. R. Abdel-Latif y M. A. E. Naiel, "Effects of dietary *Nannochloropsis oculata* on growth performance, serum biochemical parameters, immune responses, and resistance against *Aeromonas veronii* challenge in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)", *Fish Shellfish Immunology*, vol. 107, pp. 277-288, 2020. Doi: 10.1016/j.fsi.2020.10.015.
- [12] H. Muin, N. M. Taufek, M. S. Kamarudin y S. A. Razak, "Growth performance, feed utilization and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed with different levels of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) maggot meal diet", *Iranian Journal Fisheries Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 567-577, Jan. 2017.
- [13] K. Hua, "A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish", *Aquaculture*, vol. 530, 2021. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735732
- [14] F. J. Fawole, A. A. Adeoye, L. O. Tihamiyu, K. I. Ajala, S. O. Obadara y I. O. Ganiyu, "Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker", *Aquaculture*, vol. 518, 2020. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734849.
- [15] S. López-Tejeda, J.F. García-Trejo, L. Félix-Cuenca, J.J. De León-Ramírez, M. Villegas-Villegas and L.B. Flores-Tejeda, "Nitrogen excretion and oxygen consumption on hyper intensive tilapia *Oreochromis niloticus* culture using three different commercial diets", *Latin American Journal Aquatic Research*, vol. 48, no. 5, pp. 11, 2020.
- [16] Z. Zheng, C. Jin, M. Li, P. Bai y S. Dong, "Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile miiuy croaker, *Miichthys miiuy* (Basilewsky)", *Aquaculture International*, vol. 16, no. 6, pp. 581-589, 2008. Doi: 10.1007/s10499-008-9169-7.
- [17] M. W. Feeley, D. D. Benetti, y J. S. Ault, "Elevated oxygen uptake and high rates of nitrogen excretion in early life stages of the cobia *Rachycentron canadum* (L.), a fast-growing subtropical fish", *Journal of Fish Biology*, vol.71, no. 6, pp. 1662-1678, 2007. Doi: 10.1111/j.1095-8649.2007.01645.x.

