

# 29

## EFFECTO

**DE LA HARINA DE SEMILLA DE *AMARANTHUS CAUDATUS*  
SOBRE EL DESEMPEÑO ZOOTÉCNICO DE JUVENILES  
HÍBRIDOS DE TILAPIA**



# EFEECTO

## DE LA HARINA DE SEMILLA DE *AMARANTHUS CAUDATUS* SOBRE EL DESEMPEÑO ZOOTÉCNICO DE JUVENILES HÍBRIDOS DE TILAPIA

### EFFECT OF *AMARANTHUS CAUDATUS* SEED MEAL ON THE ZOOTECHNICAL PERFORMANCE OF HYBRID JUVENILE TILAPIA

Julio Cesar Quevedo-Coronel<sup>1</sup>

E-mail: [jquevedoc@uteq.edu.ec](mailto:jquevedoc@uteq.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6655-654X>

Yuniel Méndez-Martínez<sup>1</sup>

E-mail: [ymendezm@uteq.edu.ec](mailto:ymendezm@uteq.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5365-5794>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Quevedo-Coronel, J., & Méndez-Martínez, Y. (2026). Efecto de la harina de semilla de *Amaranthus caudatus* sobre el desempeño zootécnico de juveniles híbridos de tilapia. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 9(5), 285-294.

Fecha de presentación: 17/06/2026

Fecha de aceptación: 24/07/2026

Fecha de publicación: 01/09/2026

#### RESUMEN

Ante la necesidad de incorporar ingredientes vegetales de valor nutricional en las dietas acuícolas, la harina de semilla de *Amaranthus caudatus* constituye una alternativa de interés para mejorar el desempeño productivo de la tilapia. El estudio evaluó el efecto de la inclusión de harina de semilla de *Amaranthus caudatus* sobre el desempeño zootécnico de juveniles híbridos de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*). Se aplicó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos correspondientes a 0, 5, 10, 15 y 20 % de inclusión, cada uno con tres repeticiones. Se utilizaron 225 peces, distribuidos en 15 acuarios con 15 organismos por unidad experimental, durante ocho semanas. Se determinaron indicadores de crecimiento, supervivencia, conversión alimenticia y eficiencia proteica. Los pesos y longitudes iniciales fueron homogéneos entre tratamientos; sin embargo, al finalizar el ensayo se observaron diferencias significativas en los indicadores productivos ( $p = 0,0001$ ). La respuesta zootécnica aumentó a partir del 10 % de inclusión y alcanzó su mayor expresión con 20 %, tratamiento que registró un peso final de 25,53 g, una ganancia de peso de 18,96 g y una tasa de crecimiento específico de 2,42 % día<sup>-1</sup>. Paralelamente, este nivel presentó el menor factor de conversión alimenticia (1,02 g g<sup>-1</sup>) y las mayores eficiencias alimenticia (0,98 g g<sup>-1</sup>) y proteica (2,81 g g<sup>-1</sup>). La supervivencia permaneció en 100 % en todos los tratamientos. En conclusión, la inclusión de 20 % de harina de semilla de *A. caudatus* favoreció el crecimiento y la utilización del alimento, evidenciando su potencial como ingrediente complementario en dietas para tilapia híbrida.

#### Palabras clave:

Amaranto, eficiencia alimenticia, tilapia híbrida, dietas vegetales, eficiencia proteica, acuicultura sostenible.

#### ABSTRACT

Given the need to incorporate nutritionally valuable plant-based ingredients into aquafeeds, *Amaranthus caudatus* seed meal represents a promising alternative for improving the productive performance of tilapia. The study evaluated the effects of dietary inclusion of *Amaranthus caudatus* seed meal on the zootechnical performance of juvenile red hybrid tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*). A completely randomised design was applied, comprising five dietary treatments with inclusion levels of 0, 5, 10, 15 and 20%, each with three replicates. A total of 225 fish were distributed among 15 aquaria, with 15 individuals per experimental unit, over an eight-week feeding trial. Growth performance, survival, feed conversion and protein efficiency indicators were assessed. Initial body weights and lengths were homogeneous among treatments; however, significant differences were observed in productive performance at the end of the trial ( $p = 0.0001$ ). Zootechnical performance improved from the 10% inclusion level onwards and reached its highest values at 20%, which resulted in a final body weight of 25.53 g, a weight gain of 18.96 g and a specific growth rate of 2.42% day<sup>-1</sup>. Furthermore, this dietary level produced the lowest feed conversion ratio (1.02 g g<sup>-1</sup>) and the highest feed efficiency (0.98 g g<sup>-1</sup>) and protein efficiency ratio (2.81 g g<sup>-1</sup>). Survival remained at 100% across all treatments. In conclusion, the inclusion of 20% *A. caudatus* seed meal enhanced growth and feed utilisation, demonstrating its potential as a complementary ingredient in diets for hybrid tilapia.

#### Keywords:

Amaranth, feed efficiency, hybrid tilapia, plant-based diets, protein efficiency, sustainable aquaculture.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2026), la producción mundial de pesca y acuicultura alcanzó 235 millones de toneladas en 2024, de las cuales 195 millones correspondieron a animales acuáticos. En ese mismo año, la acuicultura produjo 103 millones de toneladas de animales acuáticos y representó el 53 % de su producción mundial, consolidándose como la principal fuente de crecimiento del sector. En América Latina y el Caribe, la producción de animales cultivados aumentó de 0,8 a 4,4 millones de toneladas entre 2000 y 2024. Esta expansión incrementa la necesidad de desarrollar dietas eficientes y formular alimentos con materias primas alternativas que favorezcan el crecimiento y el aprovechamiento nutricional de especies cultivadas, entre ellas la tilapia.

La producción de tilapia se ha consolidado como una actividad relevante dentro de la acuicultura continental debido a su contribución al suministro de proteína animal y a la seguridad alimentaria. Esta especie destaca por su rápido crecimiento, adaptabilidad a diferentes sistemas de cultivo y capacidad para aprovechar dietas formuladas con materias primas de origen animal y vegetal. Sin embargo, su desempeño zootécnico depende de un aporte equilibrado de proteína, energía y aminoácidos esenciales, debido a que estos nutrientes influyen directamente en la ganancia de peso, la tasa de crecimiento específico, la conversión alimenticia y la eficiencia proteica (Meurer et al., 2025). En este contexto, la alimentación representa uno de los principales componentes técnicos y económicos de la producción de tilapia. La incorporación de fuentes vegetales permite diversificar las formulaciones y reducir la dependencia de ingredientes proteicos convencionales. No obstante, su respuesta productiva está condicionada por la composición nutricional, el procesamiento, el equilibrio de aminoácidos y el nivel de inclusión. En consecuencia, concentraciones elevadas de fibra o compuestos anti nutricionales pueden disminuir la digestibilidad y el aprovechamiento del alimento (Magbanua & Ragaza, 2024). Asimismo, Badran et al. (2024) comprobaron que las mezclas moderadas de harinas oleaginosas mantuvieron el crecimiento y la eficiencia alimenticia de *Oreochromis niloticus*, mientras que los niveles elevados redujeron estos indicadores.

Entre las materias primas vegetales con potencial para la alimentación acuícola se encuentra *Amaranthus caudatus*., pseudocereal cuyas semillas contienen proteínas, carbohidratos, lípidos, fibra dietaria, vitaminas y minerales. Su fracción proteica presenta un perfil aminoacídico favorable, en especial por su contenido de lisina, aminoácido frecuentemente limitante en los cereales empleados en alimentación animal (Martínez-López et al., 2020). Además, Procopet & Oroian (2022) identificaron nueve aminoácidos esenciales y una elevada proporción

de ácidos grasos insaturados en semillas de amaranto, características que podrían complementar el aporte proteico y energético de las dietas formuladas. Sin embargo, el aprovechamiento nutricional del género *Amaranthus* varía según la especie vegetal, la fracción utilizada y el procesamiento aplicado. Las hojas, los granos y los concentrados proteicos difieren en sus contenidos de fibra, fitatos, oxalatos, taninos, saponinas e inhibidores enzimáticos. Por tanto, los niveles de inclusión deben establecerse mediante ensayos que evalúen directamente el crecimiento y la utilización del alimento, evitando extrapolar resultados entre materiales vegetales con características nutricionales distintas (Manyelo et al., 2020).

En acuicultura, Ngugi et al. (2017) demostraron que el concentrado proteico de hojas de *Amaranthus hybridus* podía sustituir hasta el 80 % de la harina de pescado en dietas para *O. niloticus* sin comprometer el crecimiento ni la utilización de nutrientes. De manera complementaria, Mulokozi et al. (2020) determinaron que la inclusión de 10 % de residuos de *A. hybridus* mantuvo el crecimiento y mejoró la conversión alimenticia en tilapia. En cachama, Ortiz (2019) evaluó dietas con diferentes niveles de *Amaranthus caudatus* como reemplazo de la harina de pescado y encontraron que el tratamiento con 50 % presentó uno de los mejores desempeños productivos, con crecimiento competitivo y una supervivencia de 100 %, por lo que fue considerado una alternativa viable para la alimentación de *Colossoma macropomum* en jaulas flotantes. En *Litopenaeus vannamei*, Molina-Poveda et al. (2017) comprobaron que la harina de *A. caudatus* podía reemplazar hasta 15 % de la proteína de harina de pescado sin efectos adversos sobre el crecimiento y la supervivencia, mientras que inclusiones superiores redujeron el desempeño productivo. En conjunto, la información sobre la inclusión gradual de harina de semilla de *A. caudatus* en juveniles híbridos de *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* continúa siendo limitada. Por consiguiente, el objetivo de la investigación es evaluar el efecto de *A. caudatus* en la dieta sobre parámetros biológicos.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Acuicultura del Campus “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el km 7,5 de la vía Quevedo–El Empalme, entrada al cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. El sitio experimental se encuentra a una altitud de 72 m s. n. m. En la tesis se registraron las coordenadas 10° 6′ 28″ de latitud sur y 70° 27′ 13″ de longitud oeste.

Se formularon cinco dietas experimentales con niveles de 0, 5, 10, 15 y 20 % de harina de semilla de *Amaranthus caudatus*, mediante el programa LINDO Systems (Chicago, IL, EE. UU.). La harina de amaranto se incorporó de forma gradual en las formulaciones, mientras que las proporciones de harina de pescado y harina de soya

permanecieron constantes. Los ingredientes principales fueron tamizados con una malla de 250 µm, pesados individualmente y mezclados en una licuadora industrial A200 Hobart de 20 qt (Troy, OH, EE. UU.) hasta obtener una mezcla uniforme. Los componentes utilizados en menor proporción se homogenizaron por separado antes de incorporarlos a los ingredientes principales. Posteriormente, se agregó agua equivalente al 30 % del peso total de cada formulación y la mezcla se procesó dos veces en un molino de carne Tor-Rey MJ22 JR para obtener pellets de 2 mm. Por último las dietas se secaron durante ocho horas a 45 °C en un horno de flujo de aire HS1600 (Sheldon Manufacturing Inc., Cornelius, OR, EE. UU.), se empacaron en bolsas plásticas selladas y se almacenaron a -4 °C hasta su utilización (Tabla 1).

Tabla 1. Formulación y composición química de las dietas experimentales con harina de semilla de *Amaranthus caudatus*.

| Ingredientes                                        | Harina de semilla de <i>Amaranthus</i> (%) |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                     | 0                                          | 5     | 10    | 15    | 20    |
| Harina Pescado <sup>1</sup>                         | 25.65                                      | 25.65 | 25.65 | 25.65 | 25.65 |
| Harina de Soya <sup>2</sup>                         | 26.15                                      | 26.15 | 26.15 | 26.15 | 26.15 |
| Harina de semilla de <i>Amaranthus</i> <sup>3</sup> | 0.0                                        | 5.0   | 10.0  | 15.0  | 20.0  |
| Harina de Trigo <sup>4</sup>                        | 20.15                                      | 18.4  | 16.4  | 14.4  | 11.4  |
| Harina de Maíz <sup>5</sup>                         | 19.5                                       | 16.25 | 13.25 | 10.25 | 8.25  |
| Premezcla Mineral <sup>6</sup>                      | 0.5                                        | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5   |
| Premezcla vitamínica <sup>7</sup>                   | 0.05                                       | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  |
| Gelatina <sup>8</sup>                               | 1.5                                        | 1.5   | 1.5   | 1.5   | 1.5   |
| Fosfato Monocálcico <sup>9</sup>                    | 0.5                                        | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5   |
| Ácido Ascórbico <sup>10</sup>                       | 1.5                                        | 1.5   | 1.5   | 1.5   | 1.5   |
| BHT <sup>11</sup>                                   | 2.0                                        | 2.0   | 2.0   | 2.0   | 2.0   |
| Aceite vegetal <sup>12</sup>                        | 1.0                                        | 1.0   | 1.0   | 1.0   | 1.0   |
| Aceite de pescado <sup>13</sup>                     | 1.5                                        | 1.5   | 1.5   | 1.5   | 1.5   |
| Composición química de las dietas (% en base seca)  |                                            |       |       |       |       |
| Proteína cruda                                      | 36.19                                      | 36.33 | 36.47 | 36.61 | 36.74 |
| Extracto etéreo                                     | 8.56                                       | 8.84  | 9.11  | 9.39  | 9.69  |
| Fibra cruda                                         | 2.09                                       | 2.31  | 2.53  | 2.75  | 2.97  |
| Ceniza                                              | 7.12                                       | 7.19  | 7.24  | 7.3   | 7.36  |
| ELN                                                 | 46.04                                      | 45.33 | 44.65 | 43.95 | 43.24 |
| Energía bruta (MJ/kg )                              | 20.67                                      | 20.74 | 20.81 | 20.87 | 20.95 |
| Energía Digestible (MJ/kg)                          | 16.64                                      | 16.72 | 16.80 | 16.88 | 16.96 |

<sup>1,2,4,5</sup>Agripac en Santo Domingo de los Tsáchilas, Barrio Coop. higuilpe y Av. de los Colonos Mz T lote; <sup>3</sup>Comunidad de San Rafael Cañar.; <sup>8</sup>Tía San Camilo, Av. Guayaquil 300 y Quevedo 120304; <sup>6,7,8, 9, 10, 11, 13; 12</sup> Química la Fórmula en Quevedo, Av. June Guzmán &, Quevedo.

Se empleó un diseño completamente al azar (Figura 1) con cinco tratamientos correspondientes a niveles de inclusión de 0, 5, 10, 15 y 20 % de harina de semilla de *Amaranthus caudatus* en las dietas experimentales (Ortiz, 2019; Niewiadomski et al., 2016) . Cada tratamiento estuvo conformado por tres repeticiones, y cada unidad experimental correspondió a un acuario plástico con 15 juveniles híbridos de tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*). En total, se utilizaron 225 peces distribuidos aleatoriamente en 15 acuarios. El ensayo de alimentación tuvo una duración de ocho semanas. Los juveniles de tilapia fueron obtenidos de la granja Don Peñafiel, ubicada en Quevedo, provincia de Los Ríos, y trasladados al Laboratorio de Acuicultura de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Inicialmente, los peces fueron aclimatados durante una semana en acuarios plásticos y, posteriormente, se distribuyeron aleatoriamente en 15 unidades experimentales de 59,5 × 39,0 × 30,5 cm, operadas con un volumen útil de 45 L de agua.

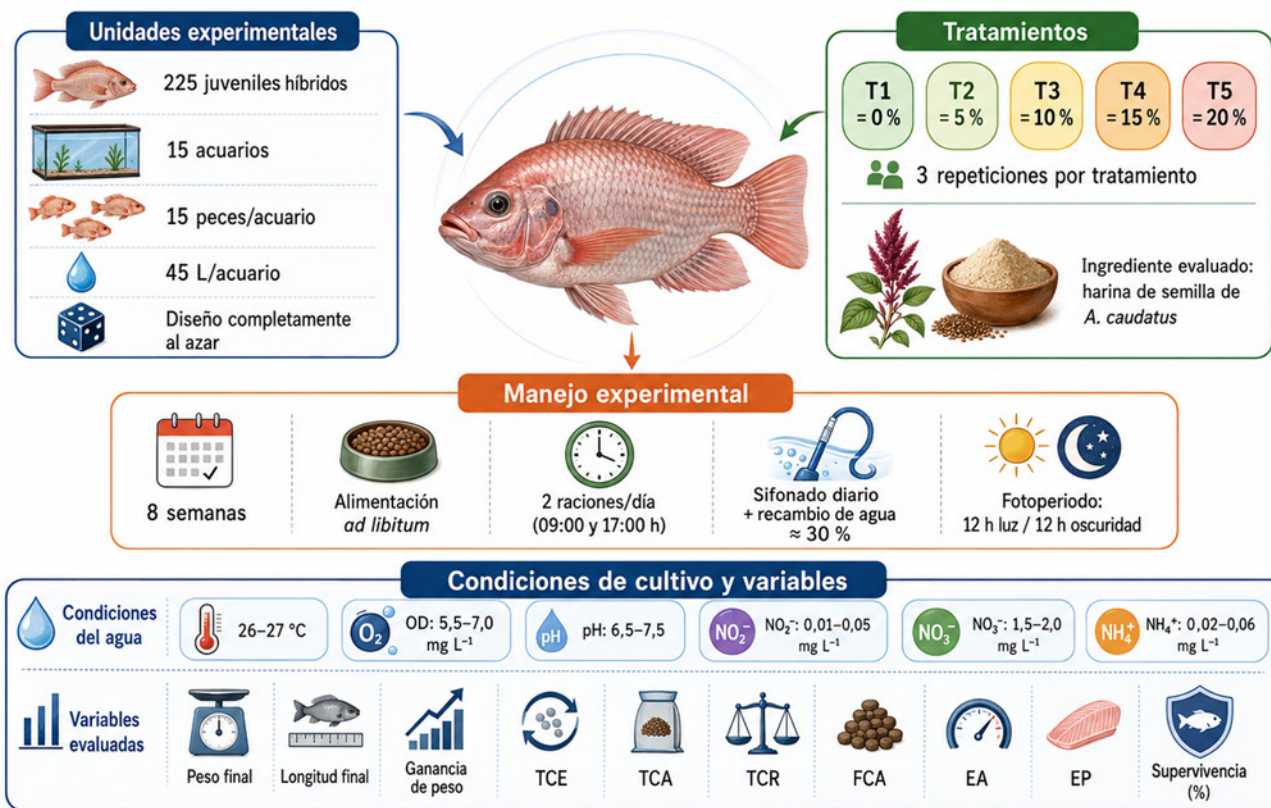


Figura 1. Diseño experimental y condiciones de cultivo de juveniles híbridos de tilapia roja alimentados con harina de semilla de *Amaranthus caudatus*.

Los peces fueron alimentados *ad libitum* con las cinco dietas experimentales, distribuidas en dos raciones diarias a las 09:00 y 17:00 h. La cantidad de alimento suministrado se ajustó cada semana con el propósito de reducir los residuos y adaptar las raciones al crecimiento de los organismos. Antes de la primera alimentación, los acuarios fueron sifonados para retirar las heces y el alimento no consumido; Se realizó un recambio aproximado del 30 % del volumen de agua. Durante el ensayo se mantuvo un fotoperíodo natural de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. La temperatura, el oxígeno disuelto y el pH se determinaron mediante un equipo multiparamétrico YY-1070. Por su parte, las concentraciones de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se cuantificaron utilizando un kit colorimétrico Saltwater Master Test (OH, EE. UU.). Los datos fueron registrados durante todo el periodo experimental y después expresados como rangos para describir las condiciones de cultivo de los juveniles híbridos. Los valores obtenidos (temperatura de 26–27 °C, oxígeno disuelto de 5,5–7,0 mg L<sup>-1</sup>, pH de 6,5–7,5, nitrito de 0,01–0,05 mg L<sup>-1</sup>, nitrato de 1,5–2,0 mg L<sup>-1</sup> y amonio de 0,02–0,06 mg L<sup>-1</sup>).

Los juveniles se pesaron individualmente con una balanza digital BLZ 016, mientras que la longitud total se registró con un calibrador digital Fowler Sylvac, modelo 54-100-444-2, con precisión de ±0,001 mm. Los residuos de alimento no consumido se recolectaron y secaron en un horno de flujo de aire Hafo Series 1600 para estimar el consumo aparente de alimento. A partir de los registros obtenidos los parámetros a continuación (F1-F8).

|                                                                                                |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Ganancia de peso (g) = $W_f - W_i$                                                             | (F1) |
| Tasa de crecimiento específico (% día <sup>-1</sup> ) = $100 \times [(\ln W_f - \ln W_i) / t]$ | (F2) |
| Tasa de crecimiento absoluto (g día <sup>-1</sup> ) = $(W_f - W_i) / (t_f - t_i)$              | (F3) |
| Tasa de crecimiento relativo (%) = $100 \times [(W_f - W_i) / W_i]$                            | (F4) |
| Conversión alimenticia (g g <sup>-1</sup> ) = $A_c / G_{pt}$                                   | (F5) |
| Eficiencia alimenticia (g g <sup>-1</sup> ) = $G_{pt} / A_c$                                   | (F6) |
| Eficiencia proteica (g g <sup>-1</sup> ) = $G_{pt} / P_c$                                      | (F7) |
| Tasa de supervivencia (%) = $100 \times [N_f / N_i]$                                           | (F8) |

Donde:  $W_f$  es el peso corporal final de los peces (g);  $W_i$  es el peso corporal inicial de los peces (g);  $t$  es la duración total del experimento (días);  $t_2$  es el tiempo final del periodo evaluado;  $t_1$  es el tiempo inicial;  $A_c$  es la cantidad total de alimento consumido, expresada en materia seca (g);  $G_{pt}$  es la ganancia total de peso húmedo de los peces del tanque (g);  $P_c$  es la cantidad total de proteína consumida (g);  $N_f$  es el número final de peces supervivientes; y  $N_i$  es el número inicial de peces.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los indicadores de crecimiento (Figura 2) variaron de acuerdo con el nivel de inclusión de harina de semilla de *Amaranthus caudatus* en las dietas de juveniles de tilapia roja híbrida. El peso vivo inicial y la longitud inicial no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ), con valores comprendidos entre 6,55 y 6,66 g y entre 72,29 y 72,53 mm, respectivamente. Esta homogeneidad confirmó que los organismos iniciaron el ensayo bajo condiciones biométricas comparables, por lo que las diferencias posteriores reflejaron el desempeño alcanzado durante las ocho semanas de alimentación y no variaciones preexistentes entre los grupos experimentales.

Al finalizar el ensayo, el peso vivo final presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $p = 0,0001$ ), con el mayor valor en T5, que alcanzó 25,53 g, seguido de T4 y T3, con 24,57 y 23,45 g, respectivamente; mientras que T1 y T2 conformaron el grupo de menor desempeño. Esta distribución evidencia que la respuesta comenzó a diferenciarse desde el 10 % de inclusión y se intensificó en los tratamientos con 15 y 20 %. Angeles et al. (2025) registraron una tendencia comparable en tilapia alimentada con harina de *Amaranthus spinosus*, al observar mayores pesos finales en los grupos que recibieron los regímenes de inclusión más favorables. En contraste, Ngugi et al. (2017) determinaron que la incorporación parcial de concentrado proteico de *A. hybridus* permitió mantener un mejor crecimiento que su utilización en proporciones elevadas, lo que confirma que el efecto de los ingredientes derivados de amaranto depende del nivel suministrado.

La longitud final siguió el mismo comportamiento del peso corporal y alcanzó 114,50 mm en T5, 112,62 mm en T4 y 108,86 mm en T3, con diferencias significativas respecto a los tratamientos de menor inclusión ( $p = 0,0001$ ). La coincidencia entre el crecimiento ponderal y longitudinal demuestra que el mejor desempeño de T5 no se limitó a una mayor masa corporal, sino que estuvo acompañado por un desarrollo somático proporcional. Esta correspondencia resulta relevante porque permite interpretar el aumento de peso como una respuesta integral del crecimiento y no como una variación aislada de una sola dimensión corporal.

De manera relacionada, la ganancia de peso aumentó desde 14,98 g en T1 y 15,20 g en T2 hasta 16,82, 17,91

y 18,96 g en T3, T4 y T5, respectivamente ( $p = 0,0001$ ). El comportamiento próximo entre el control y el nivel de 5 % indica que la concentración más baja no produjo una mejora productiva claramente diferenciada; por el contrario, el incremento se hizo evidente a partir del 10 %. Niewiadomski et al. (2016) también observaron mayores ganancias de peso en peces alimentados con niveles definidos de harina de amaranto. Sin embargo, Molina-Poveda et al. (2017) encontraron en camarón blanco que las dietas con *A. caudatus* no superaron al control, aunque el tratamiento con 15 % mostró el mejor rendimiento entre las formulaciones con amaranto. Asimismo, Adewolu & Adamson (2011) señalaron que la respuesta de *Clarias gariepinus* disminuyó cuando la harina de *A. spinosus* superó el nivel aprovechable por la especie. Estas diferencias muestran que el efecto productivo del amaranto no puede generalizarse, debido a que depende del organismo cultivado, la fracción vegetal utilizada y la concentración incorporada. La tasa de crecimiento específico confirmó esta tendencia, al incrementarse desde 2,11 % día<sup>-1</sup> en T1 hasta 2,42 % día<sup>-1</sup> en T5 ( $p = 0,0001$ ). Este resultado indica que los peces del tratamiento con 20 % mantuvieron una mayor velocidad relativa de crecimiento durante el periodo experimental. En estudios con otras fuentes vegetales, Schulz et al. (2007) observaron que la tasa de crecimiento específico podía mantenerse con niveles moderados de proteína de arveja, pero disminuía al elevar excesivamente su incorporación. De forma similar, Zhang et al. (2023) reportaron que el desempeño de la tilapia respondió a la proporción de ingredientes vegetales incluida en la dieta, lo que coincide con la menor respuesta de T2 y el incremento registrado entre T3 y T5.

Por su parte, la tasa de crecimiento absoluto aumentó de 0,27 g día<sup>-1</sup> en T1 a 0,34 g día<sup>-1</sup> en T5, lo que evidencia que los peces del tratamiento de mayor inclusión acumularon más biomasa por unidad de tiempo. Goda et al. (2007) señalaron que determinadas combinaciones de proteínas vegetales podían mantener el crecimiento diario de la tilapia cuando se incorporaban en proporciones adecuadas, mientras que Akter et al. (2024) registraron respuestas productivas favorables con niveles parciales de ingredientes vegetales y reducciones cuando su participación se incrementó por encima del intervalo óptimo. En el presente ensayo, la respuesta continuó aumentando hasta el 20 %, aunque los resultados no permiten inferir que concentraciones superiores conservarían el mismo comportamiento. La tasa de crecimiento relativo también aumentó significativamente, desde 226,80 % en T1 hasta 288,78 % en T5, mostrando que los peces alimentados con 20 % de harina de semilla de *A. caudatus* lograron el mayor incremento proporcional respecto a su peso inicial. Esta variable complementa la ganancia de peso y las tasas de crecimiento específico y absoluto, puesto que confirma que T5 mantuvo la respuesta más favorable tanto en términos diarios como acumulados. Yue & Zhou (2008) también demostraron que las modificaciones en

la proporción de ingredientes vegetales pueden reflejarse simultáneamente en el crecimiento relativo, la utilización alimenticia y la eficiencia proteica de tilapias híbridas.

En cuanto a la supervivencia, todos los tratamientos alcanzaron el 100 % durante las ocho semanas de evaluación, lo que indica que la inclusión de harina de semilla de *A. caudatus* hasta el 20 % no comprometió la viabilidad de los juveniles. La ausencia de mortalidad permitió interpretar las diferencias de peso, longitud y tasas de crecimiento como respuestas productivas de los tratamientos y no como consecuencia de pérdidas diferenciales de organismos. Al-Nadabi et al. (2024) también registraron una supervivencia del 100 % en tilapias alimentadas con distintos niveles de un ingrediente alternativo, mientras que De Leon et al. (2026) reportaron valores entre 97,50 y 100 % sin diferencias significativas entre dietas. De manera complementaria, Magbanua y Ragaza (2024) señalaron que la supervivencia puede mantenerse estable aun cuando el crecimiento y la utilización del alimento respondan de forma diferente a los tratamientos. Por tanto, la diferenciación observada en el presente estudio se concentró en el crecimiento corporal, con el mejor desempeño en T5.

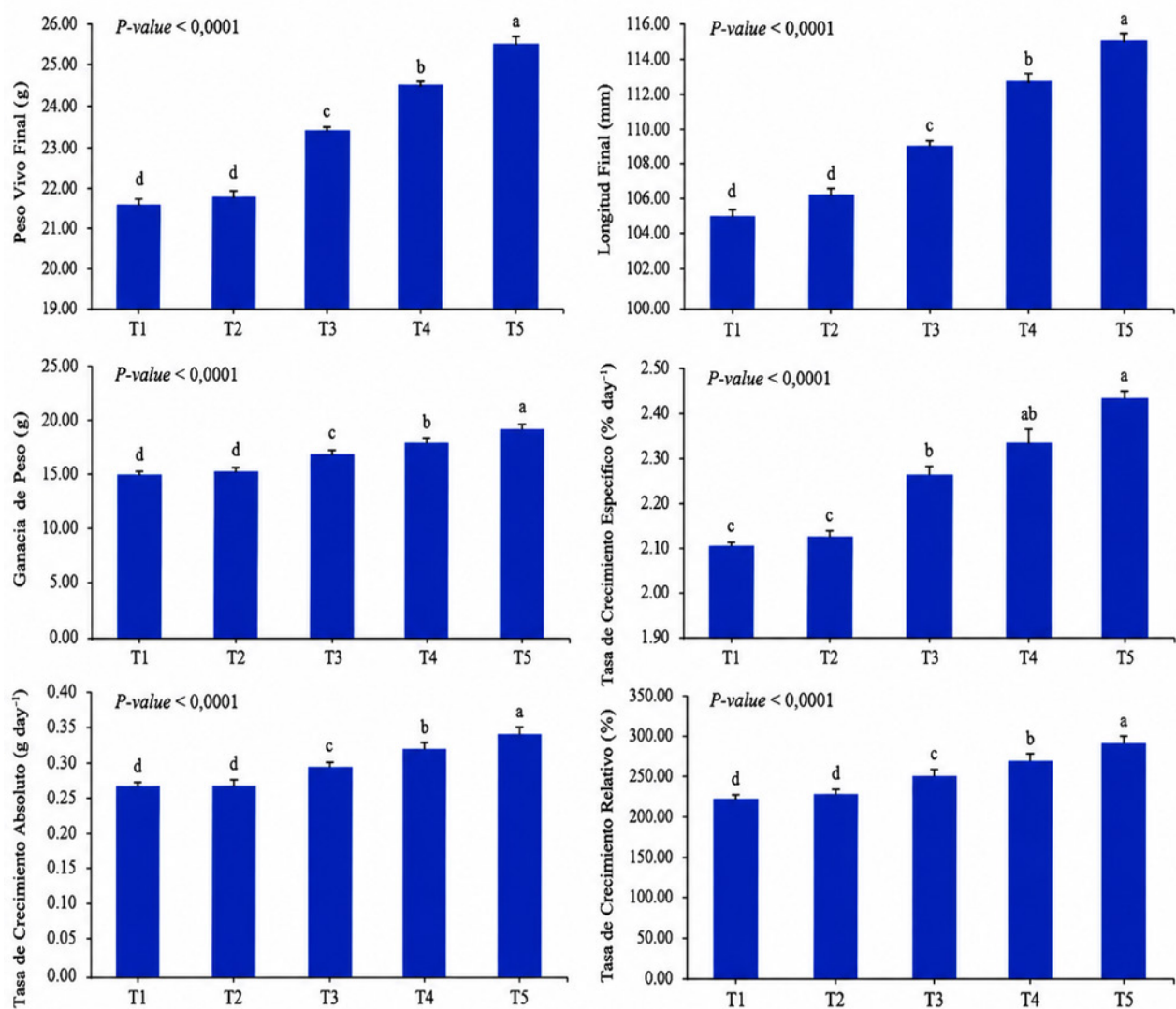


Figura 2. Indicadores de crecimiento de juveniles híbridos de tilapia roja.

Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ; pruebas de LDS Fisher).

La inclusión de harina de semilla de *Amaranthus caudatus* modificó significativamente el factor de conversión alimenticia (Figura 3) de los juveniles de tilapia roja híbrida ( $p = 0,0001$ ). T2 registró el valor más alto, con  $1,20 \text{ g g}^{-1}$ , seguido del control con  $1,17 \text{ g g}^{-1}$ ; posteriormente, el indicador disminuyó a  $1,11$ ,  $1,06$  y  $1,02 \text{ g g}^{-1}$  en T3, T4 y T5, respectivamente. Esta reducción demuestra que, a partir del 10 % de inclusión, los peces necesitaron progresivamente una menor cantidad de alimento para generar una unidad de biomasa, alcanzándose la mejor conversión con 20 %. Angeles

et al. (2025) también reportaron una disminución del factor de conversión acompañada por una mayor ganancia de peso en tilapias alimentadas con harina de amaranto. Asimismo, Awad et al. (2024) encontraron que determinados niveles de inclusión de proteínas vegetales mejoraron simultáneamente el crecimiento y la conversión alimenticia, aunque el beneficio no se mantuvo al aumentar excesivamente su participación.

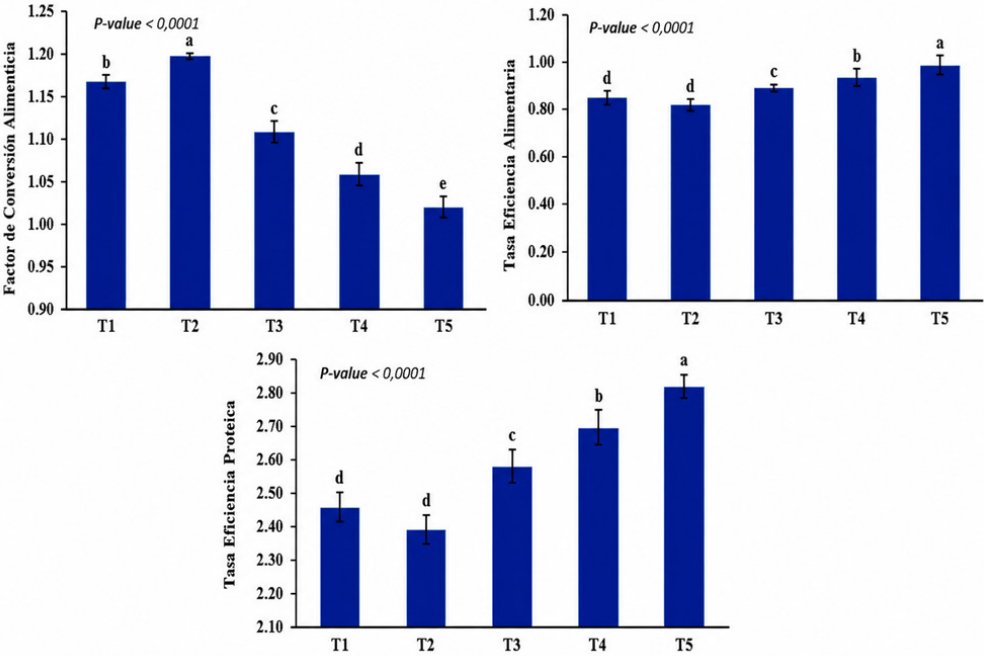


Figura 3. Indicadores de eficiencia alimenticia y proteica de juveniles híbridos de tilapia roja.

Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ; pruebas de LDS Fisher).

De forma inversa, la eficiencia alimenticia disminuyó de  $0,86 \text{ g g}^{-1}$  en T1 a  $0,83 \text{ g g}^{-1}$  en T2, pero se incrementó a  $0,90$ ,  $0,94$  y  $0,98 \text{ g g}^{-1}$  en T3, T4 y T5, respectivamente ( $p = 0,0001$ ). Esta progresión confirma que los tratamientos con 10–20 % produjeron una mayor cantidad de biomasa en relación con el alimento consumido, en concordancia con la reducción del factor de conversión. El resultado de T2 muestra nuevamente que la concentración de 5 % no fue suficiente para modificar favorablemente el desempeño; en cambio, el nivel de 20 % permitió obtener la mayor eficiencia alimenticia y coincidió con el mayor peso final y la mayor ganancia de peso. La eficiencia proteica presentó un patrón semejante, con el menor valor en T2, de  $2,38 \text{ g g}^{-1}$ , seguido de T1 con  $2,44 \text{ g g}^{-1}$ ; mientras que T3, T4 y T5 alcanzaron  $2,58$ ,  $2,69$  y  $2,81 \text{ g g}^{-1}$ , respectivamente ( $p = 0,0001$ ). Estos resultados indican que la ganancia de peso obtenida por unidad de proteína consumida aumentó progresivamente desde el 10 % de inclusión y alcanzó su mayor valor en T5. Badran et al. (2024) documentaron una respuesta comparable en tilapia del Nilo, al observar que la proporción de mezclas vegetales utilizada modificó conjuntamente la ganancia de peso, el factor de conversión y la eficiencia proteica. En el presente estudio, la coincidencia entre el menor factor de conversión y las mayores eficiencias alimenticia y proteica demuestra que T5 presentó la relación productiva más favorable entre alimento consumido y biomasa generada.

En conjunto, la respuesta de los indicadores alimenticios siguió el mismo patrón observado en las variables de crecimiento: T2 permaneció próximo o por debajo del control, mientras que T3, T4 y T5 mostraron mejoras sucesivas. Bajo las condiciones evaluadas, la inclusión de 20 % de harina de semilla de *A. caudatus* produjo el mayor peso final, la mayor ganancia de peso, el menor factor de conversión y las mayores eficiencias alimenticia y proteica, sin afectar la supervivencia. De esta manera, los resultados identifican a T5 como el tratamiento de mejor desempeño entre los niveles estudiados, sin extrapolar esta respuesta a concentraciones superiores.

CONCLUSIONES

La inclusión de harina de semilla de *Amaranthus caudatus* en la dieta favoreció el desempeño zootécnico de los juveniles híbridos de *Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*, evidenciándose una respuesta positiva del crecimiento a partir del 10 % de inclusión. Los tratamientos con este ingrediente alcanzaron mayores valores de peso final, longitud, ganancia de peso y tasas de crecimiento, lo que demuestra su potencial nutricional en la alimentación de tilapias híbridas.

Entre los niveles evaluados, la inclusión del 20 % presentó el mejor desempeño integral, al combinar un mayor crecimiento con un menor factor de conversión alimenticia y mayores eficiencias alimenticia y proteica. Estos resultados indican un aprovechamiento más eficiente del alimento y de la proteína suministrada, lo que posiciona este nivel de inclusión como el más favorable dentro de las condiciones experimentales estudiadas.

La supervivencia del 100 % registrada en todos los tratamientos demuestra, además, que los niveles de harina de *A. caudatus* evaluados no comprometieron la supervivencia de los organismos durante el periodo experimental. En conjunto, los resultados permiten concluir que la harina de semilla de *A. caudatus* constituye una alternativa con potencial como ingrediente complementario en dietas para juveniles de tilapia híbrida, particularmente a un nivel de inclusión del 20 %. No obstante, esta conclusión debe circunscribirse a las condiciones y niveles evaluados, por lo que futuras investigaciones deberán determinar su comportamiento en otras etapas de crecimiento y condiciones de cultivo.

## REFERENCIAS

- Adewolu, M. A., & Adamson, A. A. (2011). *Amaranthus spinosus* leaf meal as potential dietary protein source in the practical diets for *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *International Journal of Zoological Research*, 7(2), 128–137. <https://doi.org/10.3923/ijzr.2011.128.137>
- Akter, S., Haque, M. A., Sarker, M. A.-A., Atique, U., Iqbal, S., Sarker, P. K., Paray, B. A., Arai, T., & Hossain, M. B. (2024). Efficacy of using plant ingredients as partial substitute of fishmeal in formulated diet for a commercially cultured fish, *Labeo rohita*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1376112. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1376112>
- Al-Nadabi, R., Gallardo, W., & Al-Souti, A. (2024). Spirulina *Arthrospira platensis* as fishmeal replacement: Effect on the growth, survival and proximate composition of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Applied Environmental Biotechnology*, 9(2), 30–34. <https://doi.org/10.26789/AEB.2024.02.004>
- Angeles, I. P., Guerrero, M. M., Asprec, M. J. L., Gallego, L. M., & Calpe, A. T. (2025). Effect of dynamics of feeding *Amaranthus spinosus* leaf meal on growth performance, hematological profile, and survival of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* following *Aeromonas hydrophila* infection. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 13(3), 236–242. <https://doi.org/10.22271/fish.2025.v13.i3c.3095>
- Awad, A., Mohammady, E. Y., Soaudy, M. R., Rabetimar-ghezar, N., El-Haroun, E. R., & Hassaan, M. S. (2024). Growth and physiological response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed a fermented mixture of plant protein sources. *Animal Feed Science and Technology*, 315, 116034. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds-ci.2024.116034>
- Badran, A. A., Magouz, F. I., Zaineldin, A. I., Abdo, S. E., Amer, A. A., Gewaily, M. S., & Dawood, M. A. O. (2024). Using a blend of oilseed meals in the diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on the growth performance, feed utilization, intestinal health, growth, and metabolic-related genes. *BMC Veterinary Research*, 20(1), 529. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04373-5>
- De Leon, M. H. F., Bienes, D. G. D., Pagapulan, M. J. B. B., Mameloco, E. J. G., Gayosa, V. E. D., Huervana, F. H., del Castillo, C. S., & Traifalgar, R. F. M. (2026). Fermentation of rice milling by-products can completely replace soybean meal in the diet of *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1718289. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1718289>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *The state of world fisheries and aquaculture 2026*. FAO. <https://doi.org/10.4060/CD8357EN>
- Goda, A. M. A.-S., Wafa, M. E., El-Haroun, E. R., & Chowdhury, M. A. K. (2007). Growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and tilapia galilae *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758) fingerlings fed plant protein-based diets. *Aquaculture Research*, 38(8), 827–837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01731.x>
- Magbanua, T. O., & Ragaza, J. A. (2024). Selected dietary plant-based proteins for growth and health response of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture and Fisheries*, 9(1), 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.04.001>
- Manyelo, T. G., Sebola, N. A., van Rensburg, E. J., & Mabelebele, M. (2020). The probable use of genus *Amaranthus* as feed material for monogastric animals. *Animals*, 10(9), 1504. <https://doi.org/10.3390/ani10091504>
- Martinez-Lopez, A., Millan-Linares, M. C., Rodriguez-Martin, N. M., Millan, F., & Montserrat-de la Paz, S. (2020). Nutraceutical value of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Functional Foods*, 65, 103735. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103735>
- Meurer, F., Novodvorski, J., & Bombardelli, R. A. (2025). Protein requirements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during production and reproduction phases. *Aquaculture and Fisheries*, 10(2), 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.03.004>
- Molina-Poveda, C., Cárdenas, R., & Jover, M. (2017). Evaluation of amaranth (*Amaranthus caudatus*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) protein sources as partial substitutes for fish meal in *Litopenaeus vannamei* grow-out diets. *Aquaculture Research*, 48(3), 822–835. <https://doi.org/10.1111/are.12926>

- Mulokozi, D. P., Berg, H., & Lundh, T. (2020). An ecological and economical assessment of integrated amaranth (*Amaranthus hybridus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming in Dar es Salaam, Tanzania. *Fishes*, 5(3), 30. <https://doi.org/10.3390/fishes5030030>
- Ngugi, C. C., Oyoo-Okoth, E., Manyala, J. O., Fitzsimmons, K., & Kimotho, A. (2017). Characterization of the nutritional quality of amaranth leaf protein concentrates and suitability of fish meal replacement in Nile tilapia feeds. *Aquaculture Reports*, 5, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.01.003>
- Niewiadomski, P., Gomułka, P., Poczyczyński, P., Woźniak, M., & Szmyt, M. (2016). Dietary effect of supplementation with amaranth meal on growth performance and apparent digestibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Polish Journal of Natural Sciences*, 31(3), 459–469. [http://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/niewiadomski\\_et\\_al\\_2016.pdf](http://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/niewiadomski_et_al_2016.pdf)
- Ortiz, J. C. (2019). Alternativas alimenticias para el cultivo de *Colossoma macropomum* en jaulas flotantes. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 7(3). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1409>
- Procopet, O., & Oroian, M. (2022). Amaranth seed polyphenol, fatty acid and amino acid profile. *Applied Sciences*, 12(4), 2181. <https://doi.org/10.3390/app12042181>
- Schulz, C., Wickert, M., Kijora, C., Ogunji, J., & Rennert, B. (2007). Evaluation of pea protein isolate as alternative protein source in diets for juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 38(5), 537–545. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01699.x>
- Yue, Y.-R., & Zhou, Q.-C. (2008). Effect of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization, and hematological indexes for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, 284(1–4), 185–189. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.030>
- Zhang, X., Chang, E., Fu, Y., Liu, X., Xu, J., Wu, Y., Wang, A., Dong, X., & Miao, S. (2023). Tryptophan can alleviate the inhibition in growth and immunity of tilapia (GIFT *Oreochromis* spp.) induced by high dietary soybean meal level. *Aquaculture Reports*, 31, 101646. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101646>

## Conflictos de interés:

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

## Contribución de los autores:

Julio Cesar Quevedo-Coronel, Yuniel Méndez-Martínez: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original y redacción, revisión y edición.

## Declaración ética:

El estudio experimental se realizó con juveniles híbridos de tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*) bajo condiciones controladas de cultivo y manejo. Durante el ensayo se mantuvieron condiciones adecuadas de alimentación y calidad del agua, procurando minimizar el estrés y preservar el bienestar de los organismos. Los procedimientos desarrollados no involucraron seres humanos ni el tratamiento de información personal identificable.