

RESEARCH ARTICLE

Efecto del nivel de proteína en los parámetros productivos durante la etapa de alevinaje del bocachico (*Prochilodus magdalenae*).

Nurys Mabel Palma Ponce ¹  Isaac Isidro Freile Mera ²  Bryan José Vásquez Salazar ¹ 

¹ Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Guayaquil, Ecuador.

² Universidad Técnica estatal de Quevedo, Facultad de posgrado, Quevedo, Ecuador.

✉ Correspondencia: nurys.palma@hotmail.com  + 593 0979668279

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj92348>

Resumen: El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de proteína en la dieta sobre el desempeño productivo de alevines de *Prochilodus magdalenae* durante la etapa de alevinaje. Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: un control sin alimento balanceado y tres dietas comerciales con 40, 45 y 50 % de proteína cruda, cada una con cuatro repeticiones. Durante 60 días se evaluaron la tasa de crecimiento, supervivencia, ganancia de peso, conversión alimenticia, longitud estándar, parámetros fisicoquímicos del agua y la relación costo-beneficio. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la tasa de crecimiento, ganancia de peso y conversión alimenticia, destacándose el tratamiento con 45 % de proteína, que alcanzó los mejores indicadores productivos y la mayor rentabilidad económica. Los parámetros fisicoquímicos del agua permanecieron dentro de rangos adecuados y la supervivencia no presentó diferencias entre tratamientos. Se concluye que una dieta con 45 % de proteína constituye la alternativa más eficiente para optimizar el crecimiento y la rentabilidad del cultivo de *P. magdalenae* durante la etapa de alevinaje.

Palabras clave: Nutrición acuícola; proteína dietaria; crecimiento de alevines; eficiencia alimenticia; piscicultura tropical.

Effect of Protein Level on Production Parameters During the Fry Stage of Bocachico (*Prochilodus magdalenae*).

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effect of different dietary protein levels on the growth performance of *Prochilodus magdalenae* fry during the fry rearing stage. A completely randomized design was used with four treatments: a control group without commercial feed and three commercial diets containing 40, 45,



Cita: Palma Ponce, N. M., Freile Mera, I. I., & Vásquez Salazar, B. J. (2026). Efecto del nivel de proteína en los parámetros productivos durante la etapa de alevinaje del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Green World Journal, 09(02), 348. <https://doi.org/10.53313/gwj92348>

Received: 10/Agosto/2026

Accepted: 24/Agosto/2026

Published: 31/Agosto/2026

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2026 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

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

and 50% crude protein, each with four replicates. Over a 60-day period, growth rate, survival, weight gain, feed conversion ratio, standard length, physicochemical water parameters, and cost-benefit ratio were evaluated. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in growth rate, weight gain, and feed conversion ratio, with the 45% protein treatment standing out as it achieved the best production indicators and the highest economic profitability. The physicochemical parameters of the water remained within appropriate ranges, and survival rates did not differ among treatments. It is concluded that a diet containing 45% protein is the most efficient alternative for optimizing growth and profitability in *P. magdalenae* culture during the fry rearing stage.

Keywords: Aquaculture nutrition; dietary protein; fry growth; feed efficiency; tropical fish farming.

1. Introducción

El crecimiento sostenido de la acuicultura durante las últimas décadas ha convertido a esta actividad en uno de los principales sectores productores de alimentos de origen animal a nivel mundial. La creciente demanda de proteína de alta calidad, junto con la disminución de las capturas provenientes de la pesca extractiva, ha impulsado el desarrollo de sistemas de cultivo cada vez más eficientes y sostenibles. En este contexto, la diversificación de especies nativas representa una estrategia fundamental para fortalecer la seguridad alimentaria, reducir la presión sobre las poblaciones silvestres y generar nuevas oportunidades económicas para las comunidades rurales [1].

Entre las especies dulceacuícolas con mayor potencial productivo en América Latina se encuentra el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), pez perteneciente a la familia *Prochilodontidae* que posee una amplia aceptación comercial debido a la calidad de su carne, su adaptación a ambientes tropicales y su importancia ecológica dentro de las cuencas hidrográficas de la región. Su distribución comprende diferentes sistemas fluviales de Colombia, Ecuador, Panamá y Perú, donde constituye una de las especies de mayor valor para la pesca artesanal y para el consumo humano. En Ecuador, el bocachico se encuentra principalmente en las cuencas hidrográficas del litoral y representa un recurso pesquero de gran relevancia para numerosas poblaciones ribereñas [3].

El creciente interés por el cultivo de *P. magdalenae* responde no solamente a su demanda comercial, sino también a la necesidad de disminuir la presión ejercida sobre las poblaciones naturales. Diversos factores, entre ellos la sobrepesca, la alteración de los ecosistemas acuáticos, la contaminación y la fragmentación de los ríos por infraestructura hidráulica, han provocado una reducción importante en las poblaciones silvestres de esta especie [4]. Como consecuencia, la piscicultura emerge como una alternativa viable tanto para la conservación como para la producción sostenible, permitiendo incrementar la disponibilidad de ejemplares destinados al consumo sin depender exclusivamente de la captura en ambientes naturales [5].

A pesar del potencial productivo del bocachico, su cultivo aún enfrenta limitaciones técnicas que restringen el desarrollo de sistemas intensivos altamente eficientes [6]. Una de las principales dificultades radica en la escasa información disponible sobre sus requerimientos nutricionales durante las diferentes fases de crecimiento, particularmente durante la etapa de alevinaje. Esta fase constituye un periodo crítico dentro del ciclo productivo debido a que determina, en gran medida, la supervivencia, el crecimiento posterior y el desempeño económico del cultivo. Una nutrición inadecuada durante esta etapa puede ocasionar disminuciones significativas en la tasa de crecimiento, mayor mortalidad y un incremento considerable en los costos de producción [7].

Dentro de los componentes nutricionales, la proteína representa el nutriente de mayor importancia para los peces debido a que constituye la principal fuente de aminoácidos necesarios para la síntesis de tejidos, la formación muscular, el mantenimiento celular y múltiples procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento. A diferencia de otras especies domésticas, los peces presentan elevados requerimientos proteicos, los cuales pueden variar entre 30 % y 56 % dependiendo de la especie, la edad, el sistema de cultivo, la calidad del agua, la densidad de siembra y la fuente proteica utilizada en la formulación del alimento [8]. Estas diferencias hacen necesario determinar experimentalmente los niveles óptimos de proteína para cada especie y etapa de desarrollo, evitando extrapolar recomendaciones obtenidas para otros peces de interés comercial [9].

Desde el punto de vista económico, la alimentación constituye el componente de mayor costo dentro de los sistemas de producción acuícola, pudiendo representar hasta el 80 % de los costos operativos. En consecuencia, la formulación de dietas con niveles adecuados de proteína no solamente influye sobre el crecimiento y la conversión alimenticia, sino también sobre la rentabilidad del cultivo [10]. Un nivel insuficiente de proteína limita el crecimiento corporal y reduce la eficiencia alimenticia, mientras que un exceso incrementa innecesariamente el costo del alimento y favorece una mayor excreción de compuestos nitrogenados al ambiente [11].

La eficiencia en el aprovechamiento de la proteína posee además una importante dimensión ambiental. Cuando los peces reciben dietas con contenidos proteicos superiores a sus requerimientos fisiológicos, una parte considerable del nitrógeno ingerido es eliminada al medio acuático en forma de amonio y otros compuestos nitrogenados. Este fenómeno favorece procesos de eutrofización, deteriora la calidad del agua y altera el equilibrio ecológico de los sistemas de cultivo. Por ello, la determinación de los requerimientos nutricionales específicos constituye una herramienta indispensable para promover una acuicultura ambientalmente responsable, reduciendo tanto el desperdicio de nutrientes como la contaminación generada por los efluentes productivos [12].

Diversos estudios realizados en especies dulceacuícolas han demostrado que el incremento del nivel de proteína puede mejorar variables productivas como la ganancia de peso, la tasa específica de crecimiento y la conversión alimenticia; sin embargo, estos resultados no son consistentes entre especies. Investigaciones desarrolladas en *Pterophyllum scalare*, *Cichlasoma festae*, *Dormitator latifrons* y *Lutjanus guttatus* evidencian respuestas diferentes frente al incremento del contenido proteico, lo que confirma que cada especie posee requerimientos nutricionales particulares. Estas diferencias resaltan la necesidad de generar información específica para el bocachico, especialmente considerando que los antecedentes disponibles para esta especie aún son limitados [13].

En el caso específico de *Prochilodus magdalenae*, la información científica disponible acerca de los requerimientos proteicos durante la etapa de alevinaje continúa siendo escasa, especialmente bajo condiciones de cultivo en Ecuador [14]. La mayor parte de los estudios se han enfocado en aspectos reproductivos, manejo de reproductores, ecología o caracterización biológica, mientras que existen pocos trabajos orientados a optimizar la alimentación durante las primeras fases del cultivo. Esta limitación dificulta la formulación de programas alimenticios eficientes que permitan maximizar el crecimiento y mejorar la rentabilidad de los sistemas de producción [15].

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes niveles de proteína en la dieta sobre los parámetros productivos del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) durante la etapa de alevinaje, considerando variables como la tasa de crecimiento, la supervivencia, la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la longitud corporal. Adicionalmente, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos del agua y se realizó un análisis económico de las diferentes dietas, con el propósito de identificar el nivel de proteína que permita maximizar el desempeño productivo bajo condiciones de cultivo. Los resultados obtenidos aportan información científica relevante para optimizar los programas de alimentación de esta especie y contribuir al desarrollo de una acuicultura más eficiente, rentable y sostenible en Ecuador y otros países de la región.

2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en una unidad de producción acuícola ubicada en el recinto Las Piedras, entrada a Nueva Unión, cantón El Empalme, provincia del Guayas, Ecuador (latitud -0.964008 y longitud -79.708348), zona caracterizada por una temperatura promedio de 28 °C, condiciones favorables para el cultivo de especies tropicales de agua dulce. El ensayo experimental tuvo una duración de 60 días y se realizó bajo condiciones controladas de manejo y alimentación [16].

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) conformado por cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales. Cada unidad consistió en un recipiente con capacidad de 20 L acondicionado con 10 L de agua y un sistema permanente de aireación. La densidad de siembra fue de 20 alevines por unidad experimental, equivalente a 2 000 alevines m⁻², utilizando un total de 320 ejemplares de *Prochilodus magdalenae*. Los alevines fueron transportados desde un centro de producción ubicado en la provincia de Pastaza hasta el sitio experimental en fundas con oxígeno y posteriormente sometidos a un período de aclimatación de siete días antes del inicio del ensayo [17].

Los tratamientos evaluados consistieron en diferentes niveles de proteína cruda en la dieta. El tratamiento control (T0) no recibió alimento balanceado comercial y se mantuvo únicamente con agua proveniente de una poza con presencia natural de detritos y microorganismos. Los tratamientos T1, T2 y T3 recibieron alimento balanceado comercial extruido con contenidos de proteína cruda de 40, 45 y 50 %, respectivamente. El suministro de alimento se realizó cuatro veces al día (08:00, 11:00, 16:00 y 20:00 h), proporcionando diariamente una ración equivalente al 12 % de la biomasa de los peces, ajustada de acuerdo con las biometrías periódicas realizadas durante el experimento [18].

El desempeño productivo se evaluó mediante biometrías semanales efectuadas cada siete días. Para cada unidad experimental se registró el peso corporal utilizando una balanza electrónica de precisión y la longitud estándar mediante una aplicación digital de medición. A partir de estos registros se calcularon la tasa de crecimiento, la tasa de supervivencia, la ganancia de peso, el índice de conversión alimenticia y la longitud estándar final, utilizando las ecuaciones convencionalmente empleadas en estudios de nutrición acuícola. La mortalidad fue registrada diariamente para determinar el porcentaje de supervivencia al finalizar el período experimental [19].

Paralelamente, se monitorearon diariamente los principales parámetros fisicoquímicos del agua, incluyendo temperatura, potencial de hidrógeno (pH), dureza, nitritos y nitratos. Las mediciones se realizaron durante las primeras horas de la mañana mediante tiras reactivas comerciales y un termómetro digital, mientras que la aireación fue suministrada continuamente mediante un compresor de aire para mantener condiciones adecuadas de oxigenación durante todo el ensayo [20].

Adicionalmente, se efectuó un análisis económico mediante la estimación de la relación costo-beneficio de cada tratamiento, considerando el costo del alimento suministrado y la eficiencia de conversión alimenticia obtenida durante el período de evaluación. Finalmente, los datos recolectados fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo para determinar medias y desviaciones estándar. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para identificar diferencias significativas entre tratamientos y, cuando correspondió, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$ [21]. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software InfoStat, mientras que las correlaciones entre variables y los diagramas de distribución fueron elaborados con el programa Past versión 4.

3. Resultados

3.1. Desempeño productivo de los alevines de *Prochilodus magdalenae*

La estadística descriptiva de las variables productivas y de calidad del agua evidenció una variabilidad diferencial entre los parámetros evaluados durante el período experimental (Tabla 1). La tasa de crecimiento presentó una media de 2,02 % con una desviación estándar de 1,01, reflejando una variabilidad moderada entre los tratamientos. La tasa de supervivencia alcanzó un promedio de 77,19 %, con una desviación estándar de 11,69 %, lo que indica una respuesta relativamente uniforme de los peces frente a las condiciones de cultivo.

La ganancia de peso registró un valor promedio de 3,54 g, mientras que la conversión alimenticia presentó una media de 1,11, siendo esta última la variable con mayor coeficiente de variación (62,37 %), lo que evidencia diferencias importantes en la eficiencia de utilización del alimento entre los tratamientos. En contraste, la longitud estándar mostró una baja variabilidad, con una media de 2,94 cm y un coeficiente de variación de apenas 8,45 %, indicando un crecimiento relativamente homogéneo en esta variable.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos del agua, el pH permaneció estable durante todo el experimento con un promedio de 7,58, mientras que la temperatura registró una media de 27,61 °C. La dureza del agua permaneció constante en todas las unidades experimentales (250 mg L⁻¹), sin variación entre tratamientos. Los niveles de nitrato fueron bajos durante toda la investigación (0,07 mg L⁻¹ en promedio) y el nitrito permaneció prácticamente en valores nulos, indicando condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de los alevines.

3.2. Efecto del nivel de proteína sobre los parámetros productivos

El análisis de varianza mostró que el nivel de proteína de la dieta ejerció un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia ($p < 0,05$). En contraste, la supervivencia y la longitud estándar no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. La mayor tasa de crecimiento se obtuvo con el tratamiento T2,

correspondiente al alimento balanceado con 45 % de proteína cruda, alcanzando un valor promedio de 2,80 %, significativamente superior a los demás tratamientos ($p = 0,0001$). El tratamiento T3 (50 % de proteína) registró una tasa de crecimiento de 2,47 %, estadísticamente similar a T1 (40 % de proteína), mientras que el tratamiento control (T0), alimentado únicamente con agua proveniente de una poza con presencia natural de detritos, presentó el menor crecimiento (0,35 %).

La ganancia de peso mostró un comportamiento similar. Los peces alimentados con el balanceado que contenía 45 % de proteína alcanzaron el mayor incremento de peso corporal, con un promedio de 5,15 g. Este valor fue significativamente superior al registrado por T1 y T3, cuyos incrementos fueron de 4,35 g, mientras que el tratamiento control apenas alcanzó una ganancia promedio de 0,32 g.

Los resultados indican que incrementar el contenido proteico desde 40 hasta 45 % produjo una mejora importante en el crecimiento corporal de los peces. Sin embargo, el incremento adicional hasta 50 % no generó un aumento proporcional del desempeño productivo, observándose una ligera disminución tanto en la tasa de crecimiento como en la ganancia de peso respecto al tratamiento T2.

El análisis de varianza mostró que el nivel de proteína de la dieta ejerció un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia ($p < 0,05$). En contraste, la supervivencia y la longitud estándar no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. La mayor tasa de crecimiento se obtuvo con el tratamiento T2, correspondiente al alimento balanceado con 45 % de proteína cruda, alcanzando un valor promedio de 2,80 %, significativamente superior a los demás tratamientos ($p = 0,0001$). El tratamiento T3 (50 % de proteína) registró una tasa de crecimiento de 2,47 %, estadísticamente similar a T1 (40 % de proteína), mientras que el tratamiento control (T0), alimentado únicamente con agua proveniente de una poza con presencia natural de detritos, presentó el menor crecimiento (0,35 %).

La ganancia de peso mostró un comportamiento similar. Los peces alimentados con el balanceado que contenía 45 % de proteína alcanzaron el mayor incremento de peso corporal, con un promedio de 5,15 g. Este valor fue significativamente superior al registrado por T1 y T3, cuyos incrementos fueron de 4,35 g, mientras que el tratamiento control apenas alcanzó una ganancia promedio de 0,32 g. Los resultados indican que incrementar el contenido proteico desde 40 hasta 45 % produjo una mejora importante en el crecimiento corporal de los peces. Sin embargo, el incremento adicional hasta 50 % no generó un aumento proporcional del desempeño productivo, observándose una ligera disminución tanto en la tasa de crecimiento como en la ganancia de peso respecto al tratamiento T2.

La supervivencia de los peces no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,1699$). Aunque numéricamente el tratamiento T2 registró el mayor porcentaje de supervivencia (87,50 %), seguido por T1 (77,50 %), T3 (73,75 %) y T0 (70,00 %), estas diferencias no fueron suficientes para establecer un efecto estadístico atribuible al nivel de proteína suministrado. Durante el período experimental la mortalidad ocurrió principalmente durante las primeras semanas posteriores al proceso de aclimatación y manejo de los organismos. No se observaron patrones que relacionaran directamente las pérdidas con la composición nutricional de las dietas, lo que sugiere que otros factores inherentes al manejo experimental pudieron influir sobre esta variable.

3.3. Conversión alimenticia

El índice de conversión alimenticia mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0001$). El tratamiento T2 presentó el menor índice de conversión (1,18), indicando una utilización más eficiente del alimento para producir biomasa. En contraste, T1 registró la conversión alimenticia más elevada (1,71), seguido por T3 (1,54). Como era esperado, el tratamiento control no presentó consumo de alimento balanceado comercial y, por tanto, no fue posible calcular este indicador bajo las mismas condiciones que los demás tratamientos. Los resultados evidencian que una dieta con 45 % de proteína permitió una utilización más eficiente de los nutrientes disponibles, generando mayor incremento de peso con menor cantidad de alimento suministrado.

3.4. Longitud estándar

La longitud estándar final no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p = 0,3436$). Los valores oscilaron entre 2,82 y 3,12 cm, observándose el mayor promedio en T3 (3,12 cm) y el menor en T1 (2,82 cm). Aunque existieron diferencias numéricas entre tratamientos, la variabilidad observada dentro de cada grupo experimental impidió detectar diferencias significativas mediante la prueba de Tukey. Esto indica que el incremento del nivel proteico produjo una respuesta más evidente sobre el peso corporal que sobre el crecimiento longitudinal de los peces durante el período evaluado.

3.4. Relación entre la tasa de crecimiento y la ganancia de peso

El análisis de correlación reveló una asociación positiva extremadamente fuerte entre la tasa de crecimiento y la ganancia de peso. La regresión lineal presentó una pendiente de 1,9363, indicando que por cada incremento de una unidad porcentual en la tasa de crecimiento se obtuvo un aumento aproximado de 1,94 g en la ganancia de peso. El coeficiente de correlación fue de $r = 0,99938$ y el coeficiente de determinación alcanzó un valor de $R^2 = 0,99877$, lo que significa que prácticamente toda la variabilidad observada en la ganancia de peso puede ser explicada por la tasa de crecimiento registrada durante el experimento. Estos resultados evidencian una relación prácticamente lineal entre ambas variables productivas, confirmando que el incremento del crecimiento corporal se refleja directamente en un mayor aumento de biomasa.

3.5. Relación entre la ganancia de peso y la longitud estándar

La correlación entre la ganancia de peso y la longitud estándar fue positiva, aunque considerablemente menor que la observada para la tasa de crecimiento. El análisis de regresión mostró un coeficiente de correlación de $r = 0,79818$, indicando una asociación moderadamente alta entre ambas variables. Sin embargo, el coeficiente de determinación fue de apenas $R^2 = 0,062$, lo que evidencia que solamente una pequeña proporción de la variación en la longitud puede explicarse por las diferencias observadas en la ganancia de peso. Estos resultados sugieren que el incremento del peso corporal durante la etapa de alevinaje estuvo asociado principalmente con un mayor desarrollo de tejidos corporales, más que con un aumento proporcional en la longitud de los organismos.

3.6. Relación entre la conversión alimenticia y la ganancia de peso

Se observó una correlación positiva fuerte entre la conversión alimenticia y la ganancia de peso, con un coeficiente de correlación de $r = 0,89421$. La pendiente de la regresión fue de 0,31692, indicando que el incremento de una unidad en la conversión alimenticia estuvo asociado con un aumento aproximado de 0,32 g en la ganancia de peso. Aunque la relación fue positiva, los tratamientos con menor índice de conversión alimenticia, particularmente T2, alcanzaron simultáneamente mayores incrementos de peso, reflejando una utilización más eficiente del alimento suministrado.

3.7. Parámetros fisicoquímicos del agua

Los parámetros fisicoquímicos permanecieron dentro de rangos adecuados durante todo el período experimental. El potencial de hidrógeno (pH) presentó valores comprendidos entre 7,52 y 7,65, sin diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,1057$). Estos resultados evidencian una estabilidad química del agua independientemente del tipo de dieta suministrada. La temperatura mostró diferencias estadísticas ($p = 0,0388$), aunque la magnitud de estas variaciones fue pequeña. Los valores oscilaron entre 27,45 y 27,68 °C, manteniéndose dentro del rango óptimo para el cultivo de *P. magdalenae*.

La concentración de nitratos permaneció baja en todos los tratamientos, variando entre 0,00 y 0,13 mg L⁻¹, sin diferencias estadísticas significativas ($p = 0,7501$). Asimismo, durante todo el estudio no se detectaron concentraciones apreciables de nitritos, indicando una adecuada calidad del agua y ausencia de acumulación de compuestos nitrogenados potencialmente tóxicos. En conjunto, estos resultados demuestran que las diferentes dietas evaluadas no alteraron de manera importante las condiciones fisicoquímicas del sistema de cultivo.

3.8. Evaluación económica de los tratamientos

El análisis económico permitió identificar diferencias importantes en la eficiencia financiera de las dietas evaluadas. El tratamiento T2 presentó la menor relación costo-beneficio (3,53), constituyéndose como la alternativa económicamente más favorable del estudio. Este resultado fue consecuencia de la combinación entre una elevada ganancia de peso y una eficiente conversión alimenticia, sin incrementar significativamente el costo del alimento.

El tratamiento T1 obtuvo una relación costo-beneficio de 5,14, mientras que T3 alcanzó el valor más elevado (8,11), debido principalmente al mayor costo del alimento con 50 % de proteína y a que el incremento productivo obtenido no compensó económicamente dicha inversión. El análisis mediante diagramas de caja confirmó además que T2 presentó menor dispersión en los valores de costo-beneficio, indicando una mayor estabilidad y consistencia económica respecto a los demás tratamientos evaluados.

3.9. Observaciones etológicas

Durante el desarrollo del ensayo se registró un comportamiento jerárquico consistente en todos los tratamientos experimentales. En cada unidad experimental se observó la presencia de un individuo dominante que accedía primero al alimento, desplazando temporalmente al resto de los peces durante los eventos de alimentación.

Como consecuencia de este comportamiento, los individuos dominantes alcanzaron sistemáticamente mayores pesos y tallas respecto a los demás organismos de la misma unidad experimental. Este patrón fue repetitivo en las dieciséis unidades experimentales y se mantuvo durante todo el período de evaluación. Estas observaciones evidencian que la organización social del bocachico puede influir sobre la distribución del alimento y, por consiguiente, sobre la variabilidad individual del crecimiento, aun cuando todos los organismos sean mantenidos bajo las mismas condiciones ambientales y nutricionales.

4. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que el nivel de proteína en la dieta influye significativamente sobre el desempeño productivo de los alevines de *Prochilodus magdalenae*, particularmente en la tasa de crecimiento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia. El tratamiento con 45 % de proteína cruda (T2) presentó los mejores resultados productivos y económicos, lo que sugiere que este nivel satisface de manera más eficiente los requerimientos nutricionales de la especie durante la etapa de alevinaje. En contraste, el incremento de la proteína hasta 50 % no produjo mejoras adicionales, indicando que un mayor aporte proteico no necesariamente se traduce en un mayor crecimiento cuando las necesidades fisiológicas del pez ya han sido cubiertas [22].

Estos resultados coinciden con lo reportado por González y Wills (2019), quienes observaron que diferentes concentraciones de proteína en dietas para bocachico no siempre generan diferencias significativas en todas las variables productivas, evidenciando que existe un punto óptimo a partir del cual el incremento de proteína deja de ser eficiente. De manera similar, López (2017), al evaluar distintos niveles proteicos en *Arapaima gigas*, encontró que el aumento de la proteína favorece el crecimiento hasta alcanzar un umbral, después del cual los beneficios disminuyen debido a un menor aprovechamiento metabólico de los aminoácidos [23].

La mayor ganancia de peso y la mejor conversión alimenticia registradas en el tratamiento T2 indican que una dieta con 45 % de proteína permitió un uso más eficiente de los nutrientes para la formación de tejido corporal. Este comportamiento puede atribuirse a una relación adecuada entre proteína y energía, aspecto considerado determinante en la nutrición de peces. Cuando la energía disponible es suficiente, las proteínas son utilizadas principalmente para el crecimiento y no como fuente energética, favoreciendo una mayor deposición de músculo y una mejor eficiencia alimenticia. Por el contrario, dietas con exceso de proteína pueden incrementar el catabolismo de aminoácidos y la excreción de nitrógeno, sin reflejarse en mayores incrementos de biomasa [24].

La ausencia de diferencias significativas en la tasa de supervivencia sugiere que ninguno de los niveles de proteína evaluados afectó negativamente la viabilidad de los alevines. Este comportamiento coincide con estudios realizados en otras especies tropicales, donde la supervivencia depende en mayor medida de las condiciones de manejo, la calidad del agua y el estrés asociado a la manipulación que de pequeñas variaciones en la composición proteica de la dieta. En el presente estudio, las condiciones fisicoquímicas permanecieron dentro de los rangos adecuados para el cultivo de *P. magdalenae*, lo que probablemente contribuyó a mantener porcentajes de supervivencia similares entre tratamientos [25].

Los parámetros de calidad del agua mostraron una elevada estabilidad durante todo el ensayo, sin diferencias importantes en pH, nitratos o nitritos entre tratamientos. Esto indica que las diferentes dietas no generaron alteraciones significativas en el medio de cultivo, manteniendo condiciones

apropiadas para el desarrollo de los peces. Asimismo, las bajas concentraciones de compuestos nitrogenados evidencian una adecuada capacidad del sistema para mantener el equilibrio del agua, reduciendo el riesgo de efectos adversos sobre el crecimiento y la salud de los organismos [26].

Desde el punto de vista económico, la dieta con 45 % de proteína presentó la mejor relación costo-beneficio, demostrando que el mayor desempeño productivo estuvo acompañado de una utilización más eficiente del alimento. Este resultado posee especial relevancia para los sistemas de producción comercial, ya que el alimento representa el principal componente de los costos operativos en acuicultura. En consecuencia, suministrar niveles de proteína superiores al óptimo incrementa el costo de producción sin generar beneficios proporcionales en el crecimiento de los peces [27].

Finalmente, las observaciones etológicas realizadas durante el experimento permitieron identificar un comportamiento jerárquico entre los alevines, caracterizado por la presencia de individuos dominantes que accedían primero al alimento y alcanzaban mayores pesos y tallas. Este comportamiento sugiere que la interacción social puede constituir un factor adicional que influye sobre la variabilidad individual del crecimiento, independientemente de la calidad nutricional de la dieta. En conjunto, los resultados obtenidos aportan evidencia de que una dieta con 45 % de proteína representa una alternativa nutricional adecuada para optimizar el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la rentabilidad del cultivo de *Prochilodus magdalenae* durante la etapa de alevinaje [28].

5. Conclusión

Los resultados de esta investigación demuestran que el nivel de proteína en la dieta influye significativamente en el desempeño productivo de los alevines de *Prochilodus magdalenae*. Entre los tratamientos evaluados, la dieta con 45 % de proteína cruda presentó el mejor comportamiento en términos de tasa de crecimiento, ganancia de peso y conversión alimenticia, alcanzando además la mejor relación costo-beneficio. Estos hallazgos indican que este nivel proteico satisface de manera eficiente los requerimientos nutricionales de la especie durante la etapa de alevinaje, mientras que un incremento hasta el 50 % de proteína no produjo mejoras adicionales en el rendimiento productivo.

Asimismo, los parámetros fisicoquímicos del agua permanecieron dentro de los rangos adecuados para el cultivo del bocachico durante todo el período experimental, evidenciando que las dietas evaluadas no comprometieron la calidad del medio de cultivo. La ausencia de diferencias significativas en la supervivencia sugiere que los niveles de proteína empleados no afectaron la viabilidad de los alevines bajo las condiciones experimentales.

Desde una perspectiva productiva y económica, la utilización de un alimento balanceado con 45 % de proteína representa una alternativa eficiente para optimizar el crecimiento de *P. magdalenae* y mejorar la rentabilidad de los sistemas de cultivo. En este sentido, los resultados obtenidos constituyen un aporte para la formulación de estrategias de alimentación más eficientes y sostenibles, proporcionando información técnica que puede contribuir al fortalecimiento de la

piscicultura del bocachico y servir como base para futuras investigaciones sobre requerimientos nutricionales en diferentes fases de desarrollo y condiciones de cultivo.

Contribución de autores: Los autores contribuyeron íntegramente a la obra.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Arévalo, A.I.; Suarez Garcia, I.; Guerrero Alvarado, C.E. Effect of Different Lipid and Protein Levels in the Diet on the Productive Performance of Juvenile Angelfish (*Pterophyllum scalare*). *Respuestas* 2018, 23, 32–38.
2. Atencio-García, V.; Kerguelén, E.; Wadnipar, L.; Narváez, A. Management of First Feeding in Bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Rev. MVZ Córdoba* 2013, 18, 254–260. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1049>
3. Aya Baquero, E.; Arias-Castellanos, J.A.; Hernández-Herrera, S.M. Feeding Biology of *Prochilodus mariae* during the First Growth Stage. *Orinoquia* 2020, 24, 39–50.
4. Benítez-Hernández, A.; Martínez-Montaño, E.; Hernández, C.; Lizárraga-Velázquez, C.E.; Sánchez-Gutiérrez, E.Y.; Gaxiola-Cortés, G.; Ibarra-Castro, L.; Leyva-López, N. Growth Performance and Metabolic Responses of Juvenile Spotted Rose Snapper (*Lutjanus guttatus*) Fed Diets with Different Precooked Cornstarch-to-Protein Ratios. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 2022, 50, 276–288. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue2-fulltext-2850>
5. Briones Zambrano, K.B. Digestibility of Protein Ingredients and Protein Requirements for Juvenile Paco (*Piaractus brachipomus*) at the Fry Stage; Universidad Nacional Agraria La Molina: Lima, Peru, 2019.
6. Caicedo, I. Comparison of Three Plant-Based Diets in Juvenile Bocachico (*Ichthyolephas humeralis*) under Controlled Conditions; Universidad de Guayaquil: Guayaquil, Ecuador, 2021.
7. Cano Vera, D.A. Effect of Different Feeding Rations Based on Daily Protein Requirements in Juvenile Striped Bass (*Morone saxatilis*); Universidad Autónoma Metropolitana: Mexico City, Mexico, 2019.
8. Cruz-Casallas, P.E.; Medina-Robles, V.M.; Velasco-Santamaría, Y.M. Fish Farming of Native Species in Colombia: Current Situation and Perspectives. *Aquac. Res.* 2016, 42, 823–831. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2016.02855.x>
9. Escobar, J.; Reinoso, V.; Landínez, M. Effect of Dietary Energy and Protein Levels on the Productive Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fingerlings. *Rev. Med. Vet.* 2016, 12, 89–97. <https://doi.org/10.19052/mv.2056>
10. Galeana-López, J.A.; Hernández, C.; Leyva-López, N.; Lizárraga-Velázquez, C.E.; Sánchez-Gutiérrez, E.Y.; Heredia, J.B. Corn Husk Extracts as an Antioxidant Additive in Diets for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fingerlings. *Biotechnia* 2020, 22, 147–154. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i2.1256>
11. González, R.A.; Wills, A. Evaluation of Productive Performance in Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) Fry Fed Two Different Diets. *Rev. Fac. Med. Vet. Zootec.* 2013, 50, 50–56.

12. González Uribe, R.A.; Wills Franco, G.A. Protein-to-Digestible Energy Ratio for Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) Fry. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, Colombia, 2015.
13. González Uribe, R.A.; Wills Franco, G.A. Evaluation of Isoenergetic Diets with Different Protein Levels and Fishmeal Inclusion in Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) Fry. *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Cient.* 2019, 12. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n2.2009.693>
14. Heredia, J.; Miño, M. Productive Comparison of Hybrid Cachama (*Piaractus brachipomus* × *Colossoma macropomum*) Fed Four Commercial Diets; Universidad Técnica del Norte: Ibarra, Ecuador, 2016.
15. Hernández, C.; Lizárraga-Velázquez, C.E.; Contreras-Rojas, D.; Sánchez-Gutiérrez, E.Y.; Martínez-Montaño, E.; Ibarra-Castro, L.; Peña-Marín, E.S. Fish Meal Replacement by Corn Gluten in Feeds for Juvenile Spotted Rose Snapper (*Lutjanus guttatus*): Effects on Growth Performance, Feed Efficiency, Hematological Parameters, Protease Activity, Body Composition and Nutrient Digestibility. *Aquaculture* 2021, 531, 735896. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735896>
16. Hernández-Bolívar, G.M.; Matute-Sapuysky, I.; Moreno-Hernández, D.A.; Araujo-González, M.A.; Ramírez-Alfonzo, L.J.; Linares-Padrón, H.Z.; Arveláez, Y.M.; Loaiza-González, J.C.; Palma, M.J. Nutritional Value of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Meal in the Feeding of Coporo (*Prochilodus mariae*) Fingerlings. *Rev. Fac. Agron.* 2015, 25, 255–259.
17. López Vásquez, T.A. Evaluation of Two Protein and Digestible Energy Levels in Pelleted Diets for Paiche (*Arapaima gigas*) Fingerlings; Universidad Nacional Agraria La Molina: Lima, Peru, 2017.
18. MAGAP. Cultivo de Bocachico para Acuicultura Rural-Artesanal en el Litoral Ecuatoriano; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca: Quito, Ecuador, 2017.
19. Martillo Núñez, H.A. Evaluation of Three Protein Levels on the Growth of Juvenile Vieja Colorada (*Cichlasoma festae*); Universidad Técnica Estatal de Quevedo: Quevedo, Ecuador, 2019.
20. Merchán, S.C.S. Nutrición y Alimentación en Peces Nativos; Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): Bogotá, Colombia, 2014.
21. Moreno Bejar, M.G. Current Status of Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) Farming in Latin America; Universidad Estatal Península de Santa Elena: La Libertad, Ecuador, 2022.
22. Rodríguez, L. Bioproductive Response of Pacific Fat Sleeper (*Dormitator latifrons*) Fingerlings Fed Different Dietary Protein Levels; Universidad Técnica Estatal de Quevedo: Quevedo, Ecuador, 2022.
23. Salcedo, M.M.; B, T.V.; Altuve, D.; D, F.O.; G, A.L.M. Evaluation of Diets for Juvenile *Colossoma macropomum* Using Earthworm, Soybean and Bean Meals as Protein Sources. *Rev. Chil. Nutr.* 2013, 40, 147–154. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182013000200009>

24. Torres Castillo, H.H. Evaluation of the Inclusion of Vegetable Protein Sources as Fishmeal Replacements on Growth Performance and Feed Efficiency of Red Tilapia Hybrid (*Oreochromis* sp.); 2019.
25. Torres Castro, J.A.; Mogollón Zarate, A.V. Evaluation of Growth in Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) Fingerlings Fed *Saccharomyces cerevisiae* as a Potential Probiotic. Universidad Distrital Francisco José de Caldas: Bogotá, Colombia, 2018.
26. Villarreal, C.; Gelabert, R.; Gaxiola, G.; Cuzon, G.; Amador, L.E.; Guevara, E.; Brito, R. Growth of *Cichlasoma urophthalmus* Fingerlings Fed Diets Containing Different Levels of Soy Protein and Wheat Gluten. *Univ. Cienc.* 2011, 27, 53–62.
27. Wadnipar, L.C.; Narváez, A.L.; Atencio-García, V. Effect of the First Feeding Period with *Artemia* Nauplii on the Larviculture Performance of Bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Rev. MVZ Córdoba* 2013, 18. <https://doi.org/10.21897/rmvz.518>
28. Bayley, P.B. Factors Affecting Growth Rates of Young Tropical Floodplain Fishes: Seasonality and Density Dependence. *Environ. Biol. Fishes* 1988, 21, 127–142. <https://doi.org/10.1007/BF00004848>



© 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>