



## RESEARCH ARTICLE



## Partial replacement of *Artemia* sp. by *Moina* sp. as live feed and early weaning onto a commercial diet: effects on growth, survival, and digestive histology of paiche (*Arapaima* sp.) juveniles

Reemplazo parcial de *Artemia* sp. por *Moina* sp. como alimento vivo y destete temprano con una dieta comercial: efectos sobre el crecimiento, la supervivencia y la histología digestiva de alevines de paiche (*Arapaima* sp.)

Diana Castro-Ruiz<sup>1</sup> ; Zoila Rodríguez<sup>1</sup> ; Ivanna Dávila<sup>1</sup> ; Christian Fernández-Méndez<sup>2</sup> ; Anaíl Gonzales Flores<sup>3</sup> ; Rosa Ismiño<sup>4</sup> ; Carmen García-Dávila<sup>1</sup> ; Rossana Cubas<sup>5</sup> ; Carmela Rebaza<sup>6</sup> ; Nieves Sandoval<sup>7</sup> ; María J. Darias<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM), Dirección de Investigación en Ecosistemas Acuáticos Amazónicos (AQUAREC), Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Iquitos, Perú.

<sup>2</sup> Laboratorio de Bromatología, Dirección de Investigación en Ecosistemas Acuáticos Amazónicos (AQUAREC), Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Iquitos, Perú.

<sup>3</sup> Laboratorio de Biología Acuática (LABQUA), Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP, AQUAREC) 17000, Puerto Maldonado, Perú.

<sup>4</sup> Laboratorio de Cultivos Auxiliares, Dirección de Investigación en Ecosistemas Acuáticos Amazónicos (AQUAREC), Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Iquitos, Perú.

<sup>5</sup> Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Campus Universitario Zungarococha, Iquitos, Perú.

<sup>6</sup> Empresa ACUATECNICA E.I.R.L, Pucallpa, Perú.

<sup>7</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú.

<sup>8</sup> MARBEC, Univ Montpellier, CNRS, Ifremer, IRD, Montpellier, Francia.

\* Corresponding author: [dcastro@iip.gob.pe](mailto:dcastro@iip.gob.pe) (D. Castro-Ruiz).

Received: 1 September 2025. Accepted: 28 January 2026. Published: 16 February 2026.

### Abstract

Paiche (*Arapaima* sp.) is an emblematic species of the Peruvian Amazon, yet sustainable production remains constrained by the limited availability of fry in captivity. This study aimed to evaluate the partial replacement of *Artemia* sp. by *Moina* sp. during the live-feeding phase and the effect of early weaning onto a commercial trout diet on growth, survival, and digestive system histology. The 37-day feeding trial was conducted with six treatments in triplicate, defined by three weaning sizes (3, 3.5, and 4 cm total length) and two live-feed regimes (100% *Artemia* sp. or 50% *Artemia* sp. + 50% *Moina* sp.). All groups were weaned onto the same commercial diet. Results showed that replacing 50% of *Artemia* sp. with *Moina* sp. did not compromise initial performance. However, fry assigned to weaning at 4 cm showed reduced growth while remaining exclusively on live feed, suggesting limitations of the live-feeding protocol at that size. Weaning at 4 cm was associated with better growth and survival indicators than weaning at 3 and 3.5 cm. Nonetheless, the commercial trout diet was unsuitable for early weaning, as evidenced at the histological level by alterations such as lumen obstruction, villi deterioration, and intestinal epithelial hyperplasia. Overall, these results highlight the need to develop paiche-specific starter diets tailored to the requirements of early life stages.

**Keywords:** Amazonian aquaculture; early nutrition; growth and survival; digestive system; weaning.

### Resumen

El paiche (*Arapaima* sp.) es una especie emblemática de la Amazonía peruana, cuya producción sostenible sigue limitada por la escasa disponibilidad de alevines en cautiverio. El objetivo del presente estudio fue evaluar el reemplazo parcial de *Artemia* sp. por *Moina* sp. durante la fase de alimento vivo y el efecto del destete temprano con una dieta comercial para trucha sobre el crecimiento, la supervivencia y la histología del sistema digestivo. Se realizó un ensayo de 37 días con seis tratamientos por triplicado, definidos por tres tallas de destete (3, 3.5 y 4 cm de longitud total) y dos regímenes de alimento vivo (100% *Artemia* sp. o 50% *Artemia* sp. + 50% *Moina* sp.). Todos los grupos fueron destetados con la misma dieta comercial. El reemplazo del 50% de *Artemia* sp. por *Moina* sp. no comprometió el desempeño inicial. Sin embargo, los alevines destinados al destete a 4 cm presentaron una reducción del crecimiento mientras permanecieron exclusivamente con alimento vivo, lo que sugiere limitaciones del protocolo de alimentación viva a esa talla. El destete a 4 cm se asoció con mejores indicadores de crecimiento y supervivencia que los destetes a 3 y 3.5 cm. No obstante, la dieta comercial resultó inapropiada para el destete temprano, evidenciándose a nivel histológico mediante alteraciones como obstrucción del lumen, deterioro de las vellosidades e hiperplasia del epitelio intestinal. En conjunto, estos resultados subrayan la necesidad de desarrollar dietas específicas para el paiche, adaptadas a sus requerimientos durante las etapas tempranas.

**Palabras clave:** acuicultura amazónica; nutrición temprana; crecimiento y supervivencia; sistema digestivo; destete.

DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2026.022>

### Cite this article:

Castro-Ruiz, D., Rodríguez, Z., Dávila, I., Fernández-Méndez, C., Gonzales Flores, A., Ismiño, R., García-Dávila, C., Cubas, R., Rebaza, C., Sandoval, N., & Darias, M. J. (2026). Reemplazo parcial de *Artemia* sp. por *Moina* sp. como alimento vivo y destete temprano con una dieta comercial: efectos sobre el crecimiento, la supervivencia y la histología digestiva de alevines de paiche (*Arapaima* sp.). *Scientia Agropecuaria*, 17(2), 321-332.

## 1. Introducción

El paiche (*Arapaima* sp.) es considerado el pez de agua dulce con escamas más grande del mundo, alcanzando los 3 m de longitud y un peso de hasta 200 kg (Ferraris, 2003). Esta especie es originaria de la cuenca del Amazonas y se distribuye principalmente en Brasil, Perú, Colombia y Guyana (Nelson et al., 2016; Berra, 2007; Saint-Paul, 1986). Anteriormente se consideraba que el género *Arapaima* comprendía una especie única, *Arapaima gigas*; sin embargo, investigaciones recientes han propuesto la existencia de otras especies dentro del género (Gurdak et al., 2019; Stewart et al., 2013 a,b). En su hábitat natural, el paiche se alimenta principalmente de peces de menor tamaño (Jacobi et al., 2020; Villafan et al., 2020; Carvalho et al., 2018). Sus poblaciones naturales sufren una fuerte presión de pesca y, en consecuencia, la especie fue incorporada en el Apéndice II de la CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) y catalogada como "Datos Insuficientes" en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Castello & Stewart 2010, 2011).

El paiche presenta características favorables para la piscicultura, como su rápido crecimiento, su capacidad de adaptación al manejo, la aceptación de dietas balanceadas, la calidad del filete y el valor ornamental en la etapa de alevín (Chu et al. 2017; Cortegano et al. 2017). En condiciones de cultivo, la reproducción ocurre de forma natural en estanques de tierra, y la especie presenta cuidado parental durante los primeros tres meses posteriores a la eclosión. Las crías son detectadas por los piscicultores cuando emergen a la superficie entre los 4 y 6 días post-eclosión ( $\approx$ 1,8 cm de longitud total (LT)), momento en el que se alimentan exclusivamente de zooplancton. Entre dos y tres semanas después de la primera emersión (2 – 4 cm de LT), los alevines son transferidos a artesas y su alimentación se basa en zooplancton, forraje y dietas comerciales (Palomino et al., 2024; de Alcântara et al., 2019; Chu 2017; Ruiz-Tafur et al., 2017).

Uno de los principales desafíos en el cultivo del paiche es la baja supervivencia durante el destete, así como el elevado costo de la alimentación a lo largo de todo su ciclo de vida. En Loreto (Perú), el levante suele iniciarse mayormente entre los 4 y 8 cm de LT, y la supervivencia observada varía entre el 40% y 60% (observaciones *in situ* en piscigranjas). Durante las primeras etapas de cultivo, la alimentación se basa en el uso de alimento vivo, siendo *Artemia* sp. el más empleado debido a su alto valor nutricional y facilidad de uso. Sin embargo, su

elevado costo ha impulsado la búsqueda de sustitutos más accesibles, como el zooplancton local. En este contexto, los cladóceros del género *Moina* sp. se han propuesto como una alternativa viable por su disponibilidad.

De forma complementaria, disminuir la duración de la fase de alimento vivo e introducir dietas formuladas lo antes posible constituye igualmente una estrategia clave para reducir los costos de producción. Los protocolos de alimentación reportados para esta especie se basan generalmente en el uso de *Artemia* sp. y zooplancton natural hasta tallas superiores a 4 cm, con el fin de facilitar la transición hacia dietas formuladas (Palomino Ramos & Moyano López, 2024; Gonçalves et al., 2019; Fernández-Méndez et al., 2017; Caverio et al., 2003). Considerando que el éxito del destete depende en gran parte de la madurez del sistema digestivo, un estudio reciente caracterizó el desarrollo del tracto gastrointestinal a nivel histológico e histoquímico, así como los patrones de expresión de los principales genes digestivos, y mostró que el sistema digestivo del paiche es funcional desde la primera emersión a la superficie, aunque su eficiencia mejora progresivamente hasta al menos los 5 cm de LT (Darias et al., 2025). Este mismo estudio evidenció que un destete exitoso puede lograrse desde 3 cm de LT, siempre que se utilicen formulaciones adaptadas a las necesidades nutricionales específicas de esta etapa.

En conjunto, estos antecedentes subrayan que el destete temprano constituye un punto crítico en la producción de alevines de paiche y que su éxito depende de la adecuación nutricional y de las propiedades físicas de la dieta formulada en relación con el grado de desarrollo digestivo. Sin embargo, en la práctica, la disponibilidad de dietas comerciales formuladas específicamente para etapas tempranas sigue siendo limitada en determinados contextos, y actualmente no se dispone de una dieta diseñada para el paiche en estas fases; por ello, se recurre con frecuencia a formulaciones destinadas a otras especies. En este marco, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del destete temprano con una dieta comercial para trucha, de uso extendido en Perú, así como el reemplazo parcial de *Artemia* sp. por *Moina* sp. durante la fase de alimento vivo, sobre el crecimiento, la supervivencia y la histología del sistema digestivo de juveniles de paiche.

## 2. Metodología

### Obtención de peces y acondicionamiento

Los alevines de paiche ( $2,6 \pm 0,05$  cm de LT y  $0,17 \pm 0,005$  g de peso húmedo) fueron adquiridos de

una piscigranja comercial (Fundo Tony), ubicada en el kilómetro 34,2 de la carretera Iquitos-Nauta, Loreto, Perú. Los ejemplares fueron transportados en bolsas con oxígeno hasta el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP; Laboratorio de Biología y Genética Molecular, LBGM), San Juan Bautista, Loreto, Perú ( $S 03^{\circ}49'04.6''$ ,  $W 073^{\circ}19'15.2''$ ). A su llegada, los peces fueron acondicionados en acuarios de 25 L y acclimatados mediante la mezcla gradual del agua de las bolsas de transporte con el agua de los acuarios, con el fin de uniformizar la temperatura. Los peces se mantuvieron en estos acuarios durante tres días antes de iniciar el experimento.

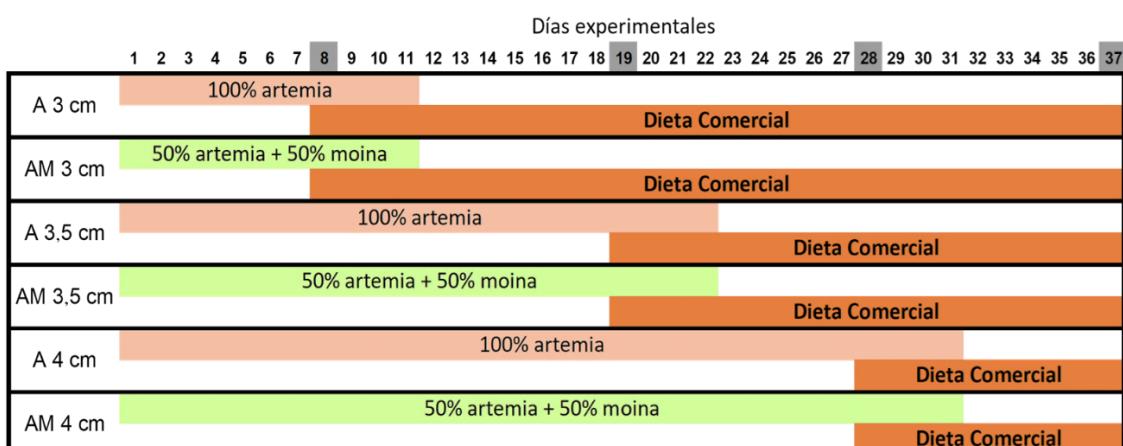
#### Cultivo de alimento vivo

Se realizaron dos cultivos, uno de *Artemia* sp. y otro de *Moina* sp. El cultivo de *Artemia* sp. se efectuó en tanques de vidrio de 20 L, utilizando quistes a una concentración de  $2 \text{ g L}^{-1}$ , incubados en agua salinizada ( $30 \text{ g L}^{-1}$ ) a  $28^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Los quistes fueron mantenidos bajo iluminación y aireación constantes hasta la eclosión de los nauplios. El cultivo de *Moina* sp. se desarrolló en artesas de madera con capacidad de 1000 L. Como insumos nutritivos se emplearon harina de pescado, harina de maíz, torta de soya, polvillo de arroz y harina de camu camu. Esta última fue elaborada a partir de semillas y cáscaras previamente secadas, tostadas y molidas. Las cepas de *Moina* sp. se aislaron a partir de colectas en estanques de cultivo de peces mediante el filtrado de 5 L de agua con una red de 50  $\mu\text{m}$ . El material retenido se concentró en 200 mL, a partir de los cuales se obtuvieron los organismos. El cultivo se enriqueció con agua verde con alta densidad algal; en los conteos predominó la microalga *Chlorella* sp., utilizada como alimento para *Moina*

sp. Previo a la alimentación, se efectuó el conteo de nauplios de *Artemia* sp. y de individuos de *Moina* sp. con el fin de determinar su densidad y calcular el volumen a suministrar en los tanques experimentales.

#### Diseño experimental y protocolo de alimentación

Los alevines ( $2,67 \pm 0,03 \text{ cm}$  de LT) fueron distribuidos aleatoriamente en 18 acuarios de 25 L (50 peces por acuario), con agua salinizada a  $3 \text{ g/L}$ . El diseño experimental consistió en 6 tratamientos por triplicado, definidos por la combinación de dos factores: (i) tres tallas de destete (3 cm, 3,5 cm y 4 cm de LT) y (ii) dos regímenes de alimento vivo (AV): una combinación de 50% *Artemia* sp. y *Moina* sp. o 100% *Artemia* sp. El destete se realizó utilizando una dieta comercial (DC) para trucha (AQUATECH, Perú, Pre-inicio; tamaño de pellet 0,3 – 0,8 mm; 53,91% proteína, 11,90% lípidos, 7,76% carbohidratos, 15,03% ceniza, 1,88% fibra cruda y 9,52% humedad). La coalimentación se llevó a cabo durante 5 días con las siguientes proporciones AV/DC: 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 y 0/100 (Figura 1). La frecuencia de alimentación fue de 6 veces al día (7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00), *ad libitum*, durante 37 días. Cada evento de alimentación tuvo una duración de 10 minutos para favorecer el consumo hasta saciedad. Aproximadamente 30 min después de cada alimentación se retiraron mediante sifoneo los restos de alimento no consumido y las excretas de la superficie del agua. El recambio de agua se realizó dos veces al día. Las condiciones de cultivo fueron: temperatura  $29,1 \pm 0,03^{\circ}\text{C}$ , pH  $7,2 \pm 0,05$ , oxígeno disuelto  $5 \pm 0,4 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{NH}_3 0,73 \pm 0,3 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{NO}_2 0,29 \pm 0,13 \text{ mg L}^{-1}$  y un fotoperíodo de 12L:12O.



**Figura 1.** Diseño experimental del estudio nutricional con alevines de paiche. Seis grupos experimentales fueron alimentados con *Artemia* sp. (A) o una combinación de *Artemia* sp. y *Moina* sp. (AM), y destetados con una dieta comercial para trucha al alcanzar 3,5 cm o 4 cm de longitud total. El código de tratamiento indica el tipo de alimento recibido al inicio y la talla de destete. Los días marcados en gris representan los puntos de muestreo.

### Crecimiento y supervivencia

Para evaluar el crecimiento, se midieron la LT y el peso húmedo de 15 individuos por acuario a los 8, 19, 28 y 37 días de experimentación. Los peces se colectaron y se pesaron rápidamente, tras retirar el exceso de agua, utilizando una balanza analítica (Sartorius Extend, Gottingen, Alemania). Para registrar la LT, los peces se fotografiaron utilizando una cámara (Nikon D850, AF Micro-Nikkor 105 mm 1:2.8D, Tailandia) sobre una placa de Petri con una regla de referencia. Las imágenes se procesaron con el software ImageJ (Schneider et al., 2012) para determinar la LT. La supervivencia se registró en los días 19, 28 y 37 mediante el conteo de los individuos vivos en cada acuario, y se expresó como el porcentaje respecto al número inicial de peces.

### Análisis histológicos

Previo al inicio del experimento, cinco individuos fueron sacrificados con una dosis letal de eugenol ( $0,05 \mu\text{L mL}^{-1}$ ; Moyco®, Moyco, Lima, Perú), y utilizados como muestra basal para los análisis correspondientes. Posteriormente, se sacrificaron cinco peces por acuario durante la etapa de coalimentación y al finalizar el experimento. Los ejemplares fueron diseccionados y se extrajeron estómago, intestino e hígado, los cuales se fijaron en formol tamponado al 10% (pH 7,2) durante 24 horas. Posteriormente, las muestras fueron transferidas a etanol al 70% y almacenadas a  $4^{\circ}\text{C}$  hasta su procesamiento (Castro-Ruiz et al., 2022). Se realizaron cortes sagitales seriados ( $3 \mu\text{m}$  de grosor) utilizando un micrótomo automático Microm HM (Leica Microsystems Nussloch GmbH, Nussloch, Alemania). Los cortes en parafina se mantuvieron a  $40^{\circ}\text{C}$  durante la noche y posteriormente se desparafinaron mediante una serie graduada de sustituto de xileno. Las láminas se tiñeron con hematoxilina-eosina (HE) y se observaron con un microscopio óptico (Leica DM1000 LED, Suiza) equipado con una cámara digital (Flexacam I5, Tailandia) acoplada a una computadora (HPPavilion All-in-one Intel CORE i7, CA, EE.UU.). La evaluación histológica del estómago, intestino e hígado se realizó comparando las estructuras tisulares observadas con la morfología esperada para la mucosa gástrica y sus glándulas, el epitelio intestinal (incluidos enterocitos y células caliciformes) y el parénquima hepático (hepatocitos), respectivamente, en alevines de paiche.

### Análisis estadísticos

Los resultados se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar (DE). La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la

homogeneidad de la varianza con la prueba de Brown-Forsythe. Cuando fue necesario, se aplicaron transformaciones logarítmicas antes del análisis. Para evaluar las diferencias entre tratamientos, se realizó un ANOVA unidireccional seguido de la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Los análisis estadísticos se efectuaron utilizando el software SigmaPlot 16 (Systat Software, San Jose, CA, EE.UU.).

### Declaración de ética

Este estudio se llevó a cabo en cumplimiento con las directrices oficiales peruanas para el cuidado y uso de animales para fines científicos y educativos. El protocolo experimental fue aprobado por el comité de bioética de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Acta de aprobación oficio N° 000028-2025-CB-DFCB/UNMSM, Proyecto 146-2025-CBE-FCB-UNMSM).

### 3. Resultados y discusión

Esta investigación evaluó en condiciones controladas el reemplazo parcial de *Artemia* sp por *Moina* sp. durante la fase de alimento vivo y el efecto del destete temprano con una dieta comercial para trucha ampliamente utilizada en Perú sobre el crecimiento, la supervivencia y la histología digestiva de alevines de paiche.

### Crecimiento y supervivencia

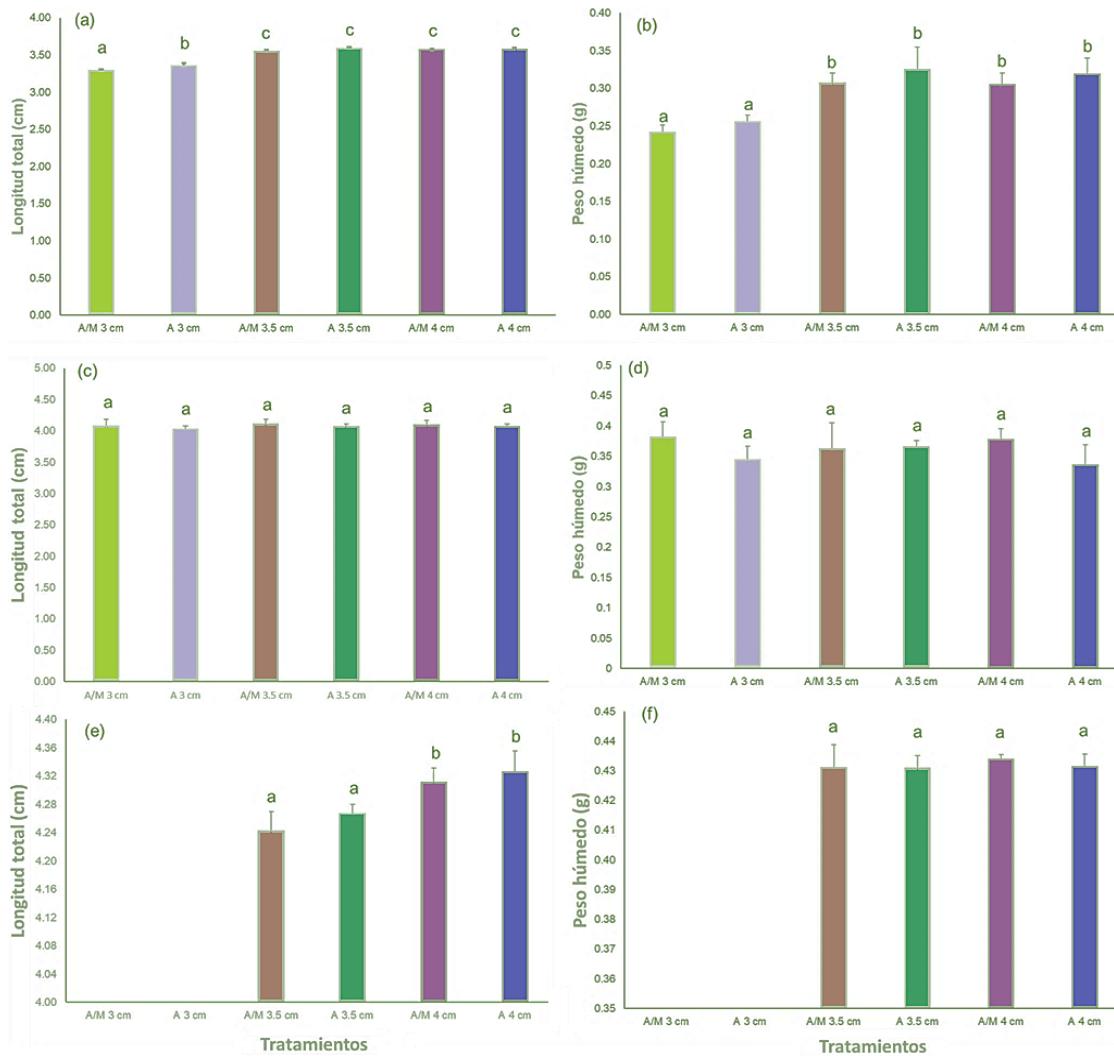
Durante el periodo inicial de alimentación exclusiva con alimento vivo (hasta el día 8), los alevines de los seis tratamientos no mostraron diferencias significativas en LT, peso húmedo ni supervivencia. En promedio, los peces alcanzaron  $3,045 \pm 0,008 \text{ cm}$  de LT y  $0,189 \pm 0,003 \text{ g}$  de peso ( $n = 15$ ), con una supervivencia del  $99,0 \pm 0,78 \%$  ( $n$  inicial = 50) ( $p > 0,05$ ). Este resultado concuerda con la importancia del alimento vivo en los primeros estadios de vida, desde la apertura de la boca hasta la completa funcionalidad del sistema digestivo (Yúfera & Darias 2007; Ismiño et al., 2020; Cavero et al., 2003). En este contexto, el uso de cladóceros nativos como *Moina* sp. se ha propuesto como una alternativa económica a *Artemia* sp. en la Amazonía peruana (Trejo-Albarrán et al., 2024; Gonçalves et al., 2019; Cavero et al., 2003). Los resultados del presente estudio respaldan esta alternativa, al mostrar que el reemplazo parcial (50%) de *Artemia* sp. por *Moina* sp. durante la fase de alimento vivo no compromete el desempeño temprano, lo que sugiere un potencial para reducir costos de producción.

A los 19 días de experimentación (11 días después del destete a 3 cm), se observaron diferencias significativas en crecimiento y supervivencia.

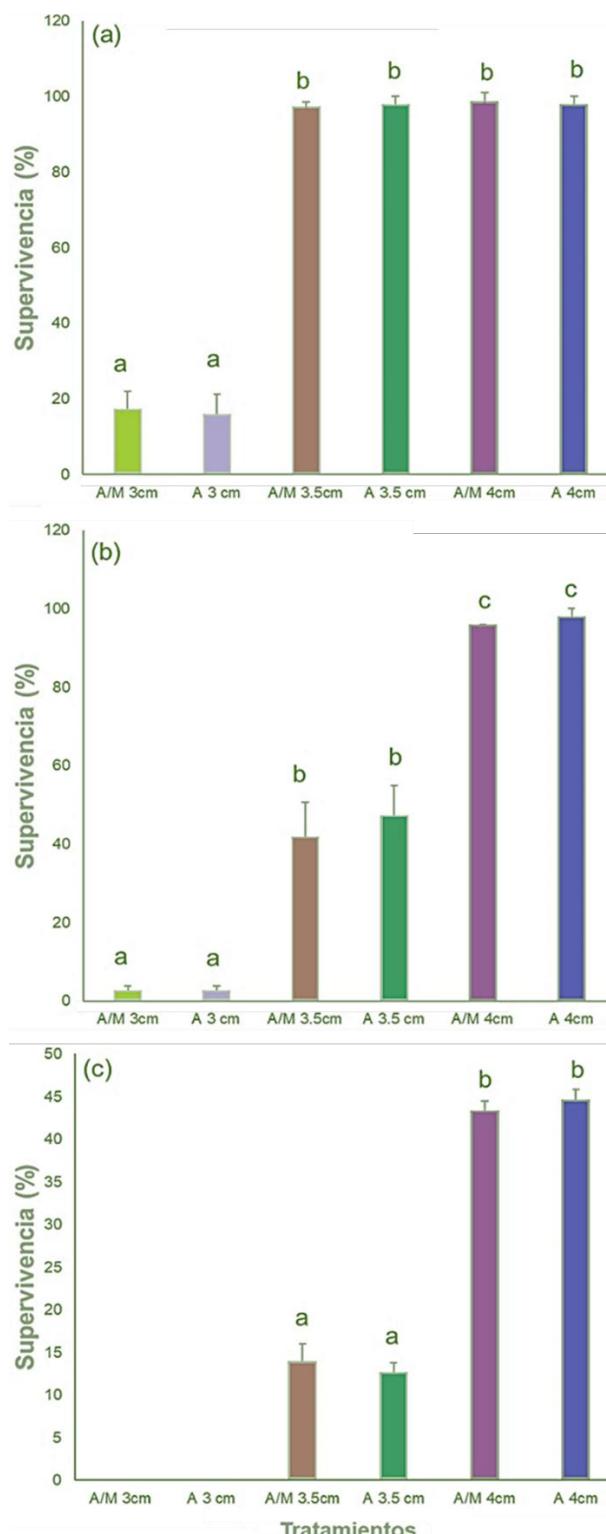
Los alevines destetados a 3 cm presentaron los valores más bajos de LT, peso húmedo y supervivencia en comparación con los otros grupos ( $p < 0,05$ ; **Figuras 2a, 2b y 3a**). Dentro de los grupos destetados a 3 cm, el grupo alimentado inicialmente con 100% *Artemia* sp. mostró una longitud significativamente mayor que el grupo alimentado con 50% *Artemia* sp. y 50% *Moina* sp.; sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el peso.

A los 28 días de experimentación, no se observaron diferencias significativas en LT ni en peso húmedo entre tratamientos ( $p > 0,05$ ; **Figuras 2c y 2d**). No obstante, los grupos que continuaron recibiendo alimento vivo hasta ese momento mostraron una mayor supervivencia (97%) que los grupos destetados a 3 y 3.5 cm (3% y 45%, respectivamente; **Figura 3b**). En ese momento, los grupos destetados

a 3 y 3.5 cm llevaban 20 y 9 días, respectivamente, recibiendo la dieta comercial, mientras que el grupo con destete programado a 4 cm había permanecido con alimento vivo hasta ese día. La disminución de la tasa de crecimiento observada en los grupos destinados al destete a 4 cm entre los días 19 y 28 sugiere que el alimento vivo (tanto *Artemia* sp. como *Moina* sp.) ya no cubría adecuadamente los requerimientos nutricionales a esa talla, como se ha descrito en otras especies amazónicas a partir de ciertos estudios (Darias et al., 2015). Esto subraya la importancia de identificar una ventana óptima de destete que minimice tanto el riesgo asociado a una transición precoz —cuando no se dispone de dietas de inicio adecuadas— como las limitaciones productivas y económicas derivadas de prolongar la fase de alimento vivo.



**Figura 2.** Longitud total y peso húmedo de alevines de paiche a los 19 (a, b), 28 (c, d) y 37 (e, f) días de experimentación ( $n = 15$  por acuario; 3 acuarios por tratamiento), cultivados a  $29,14 \pm 0,03$  °C y con fotoperíodo 12L:12O. Los alevines fueron alimentados con *Artemia* sp. (A) o una combinación de *Artemia* sp. y *Moina* sp. (AM) durante la fase de alimento vivo, y destetados con una dieta comercial para trucha al alcanzar 3, 3.5 cm o 4 cm de longitud total. Los datos se expresan como media  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (ANOVA de una vía,  $p < 0,05$ ).



**Figura 3.** Supervivencia (%) de alevines de paiche a los 19 (a), 28 (b) y 37 (c) días de experimentación (n inicial = 50 por acuario; 3 acuarios por tratamiento), cultivados a  $29,1 \pm 0,03$  °C y con fotoperiodo 12L:12O. Los alevines fueron alimentados con *Artemia* sp. (A) o una combinación de *Artemia* sp. y *Moina* sp. (AM) durante la fase de alimento vivo, y destetados con una dieta comercial para trucha al alcanzar 3, 3,5 cm o 4 cm de longitud total. Los datos se expresan como media  $\pm$  desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (ANOVA de una vía,  $p < 0,05$ ).

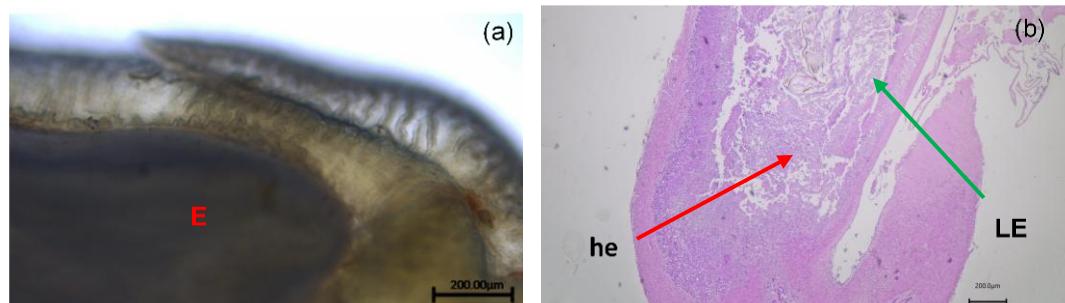
Al final del experimento (37 días; 9 días después del destete a 4 cm), los alevines destetados a 4 cm mostraron mayores valores de LT y supervivencia en comparación con los destetados a 3,5 cm ( $p < 0,05$ ; **Figuras 2e, 2f y 3c**). En cuanto al peso, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Los alevines destetados a 3 cm no alcanzaron el final del experimento.

Hasta la fecha, los estudios sobre destete del paiche a tallas tempranas utilizando dietas formuladas, tanto nacional como importadas, siguen siendo limitados (**Tabla 1**). En el presente estudio, se evaluó una dieta comercial disponible en el mercado peruano con el fin de explorar alternativas de menor costo para la producción. Se seleccionó una dieta comercial para trucha basándose en su uso previo en otras especies carnívoras amazónicas, como *Pseudoplatystoma punctifer* (Fernández-Méndez et al., 2012), y en paiche de mayor tamaño ( $\geq 6,5$  cm; Fernández-Méndez et al., 2017). Sin embargo, bajo las condiciones ensayadas, la dieta comercial para trucha no fue adecuada para sostener el crecimiento y la supervivencia tras destetes a tallas  $\leq 4$  cm. Aunque los alevines aceptaron el alimento, su utilización digestiva habría sido limitada, lo que se

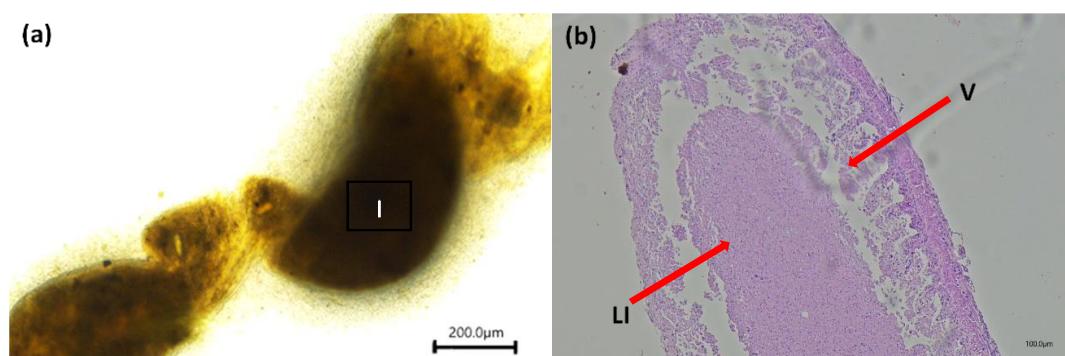
reflejó en un desempeño reducido. Este hallazgo es especialmente relevante considerando que el sistema digestivo del paiche es funcional desde la primera emersión a la superficie; sin embargo, su maduración y eficiencia se consolidan progresivamente hasta al menos los 5 cm de LT (Darias et al., 2025).

### Histología

A nivel histológico, durante el periodo de alimentación con alimento vivo no se observaron alteraciones evidentes en estómago, intestino ni hígado, independientemente del grupo experimental. Las alteraciones comenzaron a observarse tras la introducción de la dieta comercial. A los 19 días de experimentación, los alevines destetados a 3 cm presentaron, a nivel macroscópico, dilatación del estómago e intestino, junto con retención del contenido alimenticio. Microscópicamente, se evidenció hiperplasia del epitelio gástrico, pérdida del epitelio de revestimiento y signos compatibles con deterioro de las vellosidades intestinales. El lumen intestinal mostró una oclusión severa, con acumulación de contenido alimenticio mezclado con detritos celulares (**Figuras 4a, 4b, 5a y 5b**).



**Figura 4.** Estómago de alevines de paiche destetados a 3 cm de longitud total, a los 19 días de experimentación, alimentados con dieta comercial (100%). (a) Imagen macroscópica: estómago dilatado con abundante contenido alimenticio (color negro). (b) Imagen microscópica: corte longitudinal del estómago que muestra hiperplasia del epitelio (he, flecha roja) y acumulación de contenido alimenticio en el lumen (LE, flecha verde). Tinción con hematoxilina-eosina.



**Figura 5.** Intestino de alevines de paiche destetados a 3 cm de longitud total, a los 19 días de experimentación, alimentado con dieta comercial (100%). (a) Imagen macroscópica: dilatación intestinal y retención del contenido alimenticio de color oscuro. (b) Imagen microscópica: corte longitudinal del intestino con pérdida del epitelio de revestimiento y deterioro de las vellosidades (V). En el lumen intestinal (LI) se observa oclusión severa con contenido alimenticio mezclado con detritos celulares. Tinción con hematoxilina-eosina.

**Tabla 1**

Comparación de estrategias de alimentación y destete en alevines tempranos de paiche, condiciones de cultivo y principales resultados productivos

Referencia →	Presente estudio	Darias et al. (2025)	Dantas et al. (2022)*	Gonçalves et al. (2019)	Alcántara et al. (2018)	Fernández-Méndez et al. (2017)
Talla inicial (LT, cm)	2,6±0,05	3,2±0,03	3,6±0,3	2,1±0,1	2,2±0,1	6,5±0,3
Peso inicial (g)	0,1±0,01	0,1±0,00	0,4±0,1	0,04± 0,01	0,1±0,01	1,6±0,3
Duración del experimento (días)	37	26	24	15	20	27
Sistema de cultivo	Estático, acuarios	Recirculación, tanques	Estático, tanques	Estático, tanques	Estático, tanques	Estático, acuarios
<b>Condiciones de cultivo</b>						
- Densidad (peces L <sup>-1</sup> )	2	1	1	2,5	1,17	2
- Temperatura (°C)	29,1±0,03	27,8±0,7	26,5±2,6	27,9±0,02	27,9±0,8	27,7±0,9
- Oxígeno disuelto (mg L <sup>-1</sup> )	5±0,4	7,4±0,2	6,5±0,3	5,5±0,9	5,6±0,5	5,1±0,7
- pH	7,2±0,05	7±0,5	6,5±0,3	7,2±0,1	7,0±0,2	6,9±0,1
- Fotoperiodo	12L:12O	OL:24O	-	12L:12O	12L:12O	12L:12O
<b>Alimento vivo</b>						
- Tipo	Artemia sp., Moina sp.	Artemia sp.	Artemia sp.	Artemia sp., cladóceros, ostrácodos	Artemia sp., cladóceros, copépodos, ostrácodos	Artemia sp.
- Duración alimentación (días)	7, 18 y 27	1	-	15	11	1
- Estrategia de destete						
- Talla de destete (LT, cm)	3, 3,5 y 4	3	3,6	-	4,5	6,5
- Duración co-alimentación (días)	5	3	7	-	4	7
<b>Alimento balanceado</b>						
- Tipo	Aquatech pre-inicio	Experimental para larvas	Pellets Sparos®	-	Aquaxcel Starter WW	Puripache 50, Aquatech 45 y 50
- Talla (mm)	0,3–0,8	0,1–0,5	0,2–0,4 y 0,4–0,6	-	0,8–1,0	-
- Características nutricionales	54% P, 12% L	60% P, 15% L	64% P, 15% L	-	45% P, 12% L	50% P, 10% L; 50% P, 8% L; 45% P, 8% L
- Frecuencia alimentación diaria	6	5	10	9	7	6
Talla final (LT, cm)	-   4,3±0,02   4,3±0,01	4,8	6,7±0,6   6,8±0,5	4,6±0,2   4,4±0,1   3,4±0,2	7,2±0,2	10,5±0,5
Peso final (g)	-   0,4±0,0   0,4±0,0	0,5	1,8±0,2   2,0±0,1	0,5± 0,1   0,5±0,1   0,2±0,04	1,9±0,2	9,4±1,6
Supervivencia final (%)	-   13±0,9   44,0±1	97±2	76,0±7,2   78,7±3,1	95,8±1,7   96,7±4,7   40,0±15,6	99,3%	94,0±1,1

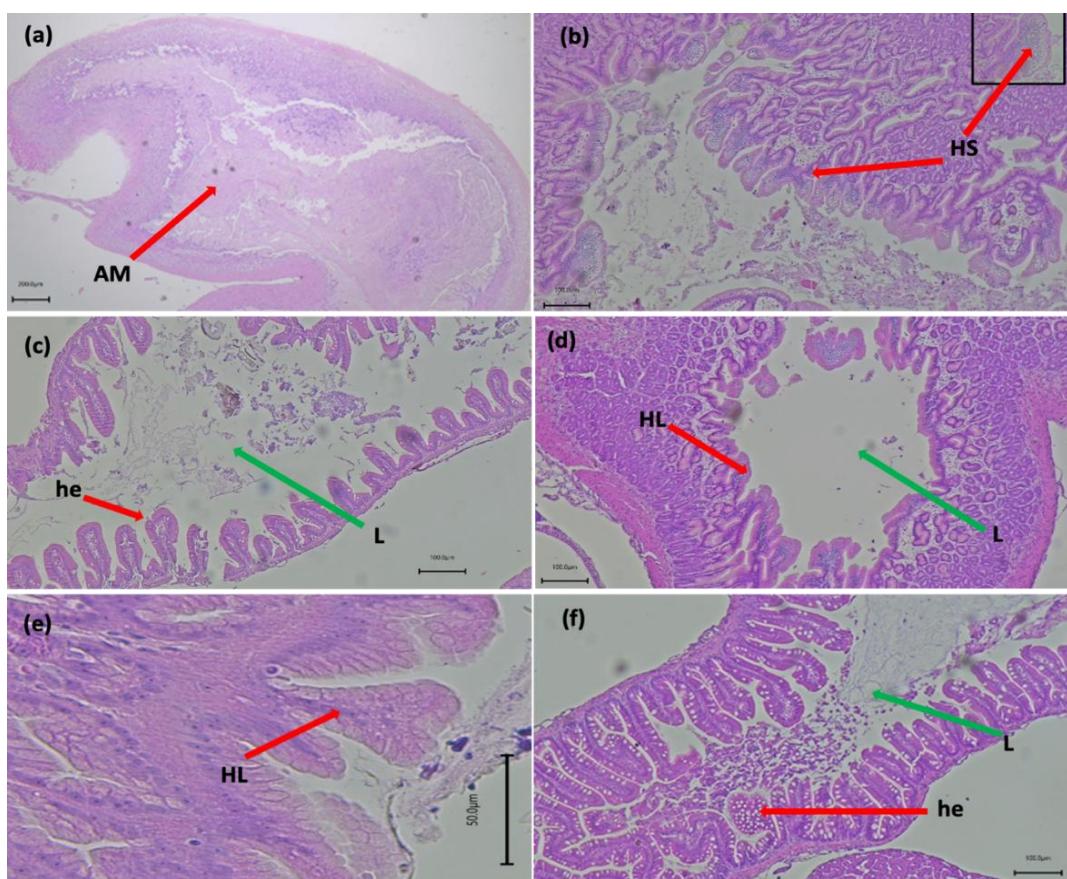
\* Únicamente se muestran los resultados del experimento en agua clara de este trabajo, ya que el experimento con agua verde (microalgas) mostró resultados similares. LT, longitud total.

A los 21 días de experimentación, los alevines en proceso de destete (del grupo de 3,5 cm de LT) presentaron una presencia moderada de mucus entremezclado con células descamadas, alimento y signos de alteración de la mucosa (**Figura 6a**). A los 28 días de experimentación, los alevines destetados a 3,5 cm mostraron hiperplasia severa en el estómago, con formación de pliegues, presencia de mucus y escasas células descamadas en el lumen. A nivel intestinal, se observó hiperplasia leve del epitelio, incluyendo enterocitos y células caliciformes, dilatación del lumen y baja presencia de contenido alimenticio y detritos celulares (**Figuras 6b** y **6c**).

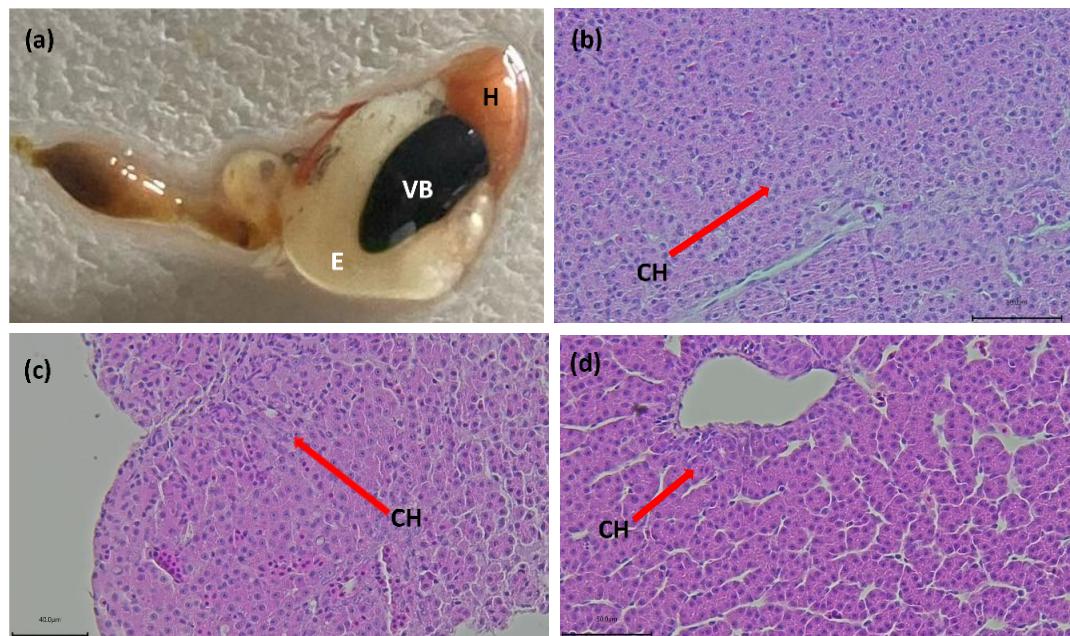
A los 37 días de experimentación, los alevines destetados a 4 cm presentaron hiperplasia leve a moderada en el estómago, con presencia de células descamadas y escaso mucus en el lumen. En el intestino se observó mayor integridad estructural y

uniformidad de las vellosidades, junto con hiperplasia del epitelio (enterocitos y células caliciformes) y mayor presencia de contenido alimenticio y detritos celulares en el lumen (**Figuras 6d–6f**). A nivel hepático, todos los tratamientos mostraron una citoarquitectura normal al finalizar el experimento, sin lesiones aparentes (**Figuras 7a–7d**).

En conjunto, estos hallazgos muestran que, bajo las condiciones de este estudio, la transición temprana a la dieta comercial evaluada se asoció con alteraciones digestivas consistentes con una respuesta de estrés a nivel del tracto digestivo, lo cual refuerza la importancia de contar con dietas de inicio formuladas específicamente para el paiche. Asimismo, es posible que los macronutrientes de la dieta comercial utilizada no estén presentes en cantidades y/o proporciones adecuadas a las necesidades de esta especie en esta etapa temprana (**Darias et al., 2015**).



**Figura 6.** Cortes histológicos del sistema digestivo de alevines de paiche durante el destete y la alimentación con dieta comercial. (a) Estómago a los 21 días de experimentación de alevines de 3,5 cm de longitud total durante el destete (60% dieta comercial), con presencia moderada de mucus entremezclado con células descamadas, alimento y alteración de la mucosa (AM). (b) Estómago a los 28 días (alevines destetados a 3,5 cm), con hiperplasia severa del epitelio (HS, flecha roja), formación de pliegues, presencia de mucus y escasas células descamadas en el lumen. (c) Intestino anterior a los 28 días con hiperplasia leve del epitelio (incluyendo enterocitos y células caliciformes; he, flecha roja), dilatación del lumen y escasa presencia de contenido alimenticio y detritos celulares (L, flecha verde). (d) Estómago a los 37 días (alevines destetados a 4 cm), con hiperplasia leve a moderada, presencia de células descamadas (HL, flecha roja) y escaso mucus (flecha verde). (e) Detalle de mucosa estomacal a los 37 días con hiperplasia leve moderada (HL, flecha roja). (f) Intestino anterior a los 37 días con mayor integridad y uniformidad de vellosidades, hiperplasia del epitelio (he, flecha roja) y mayor contenido alimenticio y detritus celular en el lumen (L, flecha verde). Tinción con hematoxilina-eosina.



**Figura 7.** (a) Imagen macroscópica del sistema digestivo de un alevín de paiche a los 37 días de experimentación, alimentado con dieta comercial (100%), mostrando hígado (H), vesícula biliar (VB), estómago (E) e intestino (I). (b-d) Cortes histológicos del hígado a los 19, 28 y 37 días de experimentación, respectivamente. En todas las etapas se observa una citoarquitectura hepática conservada, sin lesiones aparentes; en (d) se distinguen cordones hepáticos (CH) bien definidos. Tinción con hematoxilina-eosina.

En un estudio previo, una formulación específica que incluía proteína hidrolizada y fosfolípidos marinos permitió un destete exitoso a 3 cm (Darias et al., 2025). La ausencia de este tipo de fracciones más digestibles en la dieta comercial para trucha podría contribuir a explicar su desempeño limitado, ya que los alevines de paiche en esta fase aún no alcanzan la máxima eficiencia para procesar dietas más complejas (Darias et al., 2025).

#### 4. Conclusiones

Este estudio demuestra que es factible sustituir parcialmente *Artemia* sp. por *Moina* sp. durante la fase de alimento vivo sin comprometer el desempeño inicial de los alevines, lo que respalda el potencial de *Moina* sp. como insumo alternativo en protocolos de alevinaje. En contraste, el destete temprano con la dieta comercial para trucha evaluada resultó inadecuado en las tallas más pequeñas, asociándose con baja supervivencia y alteraciones digestivas compatibles con una limitada tolerancia o uso del alimento inerte en esta etapa. Bajo las condiciones ensayadas, el destete a 4 cm se asoció con mejores indicadores productivos que los destetes a 3 y 3,5 cm, aunque la evidencia histológica sugiere que la transición a dieta inerte puede seguir implicando estrés digestivo, por lo que la adecuación de la dieta y del protocolo de transición sigue siendo determinante.

Estudios futuros deben orientarse hacia el desarrollo y validación de dietas de inicio específicas para paiche que integren ingredientes disponibles local o regionalmente, y hacia la optimización de propiedades clave del alimento (tamaño de partícula, estabilidad, palatabilidad) para reducir la retención del alimento y las alteraciones intestinales observadas. Asimismo, resulta prioritario evaluar formulaciones que incorporen fracciones más digestibles (p. ej., hidrolizados proteicos) y lípidos funcionales (p. ej., fosfolípidos), junto con indicadores funcionales (crecimiento, supervivencia, histología y parámetros digestivos) en condiciones experimentales y de producción, a fin de establecer protocolos de destete con una buena relación costo-eficacia.

#### Conflictos de intereses

Los autores han declarado no tener conflicto de intereses.

#### Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el concurso de "Proyectos de Investigación Básica 2023-01E041-2023-01" del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Concytec), a través de su unidad ejecutora ProCiencia (contrato N° PE501082055-2023-PROCIENCIA).

#### Aprobación ética

Los procedimientos experimentales con animales se realizaron siguiendo las directrices oficiales peruanas para el cuidado y uso de animales para fines científicos y educativos. El protocolo experimental fue aprobado por el comité de bioética de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Acta de aprobación oficio N° 000028-2025-CB-DFCB/UNMSM, Proyecto 146-2025-CBE-FCB-UNMSM).

### Contribución de los autores

**D. Castro-Ruiz:** Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Recursos, Software, Supervisión, Validación, Visualización, Escritura-Preparación del borrador original; **Z. Rodríguez:** Investigación; **I. Dávila:** Investigación; **C. Fernández-Méndez:** Análisis formal, Metodología, Recursos, Supervisión, Escritura-Revisión y edición; **A. Gonzales Flores:** Supervisión, Escritura-Revisión y edición; **R. Ismíño:** Escritura-Revisión y edición; **C. García-Dávila:** Recursos, Escritura-Revisión y edición; **R. Cubas:** Escritura-Revisión y edición; **C. Rebaza:** Escritura-Revisión y edición; **N. Sandoval:** Análisis formal, Escritura-Revisión y edición; **M. J. Darias:** Metodología, Recursos, Supervisión, Visualización, Escritura-Revisión y edición.

### ORCID

- D. Castro-Ruiz  <https://orcid.org/0000-0001-7735-8965>  
 Z. Rodríguez  <https://orcid.org/0009-0007-3639-9067>  
 I. Dávila  <https://orcid.org/0009-0001-8867-8638>  
 C. Fernández-Méndez  <https://orcid.org/0000-0002-7754-8395>  
 A. Gonzales Flores  <https://orcid.org/0000-0002-9828-3500>  
 R. Ismíño  <https://orcid.org/0000-0003-0253-9045>  
 C. García-Dávila  <https://orcid.org/0000-0003-4125-5563>  
 R. Cubas  <https://orcid.org/0000-0002-3745-4861>  
 C. Rebaza  <https://orcid.org/0000-0002-7050-9983>  
 N. Sandoval  <https://orcid.org/0000-0003-0112-9183>  
 M. J. Darias  <https://orcid.org/0000-0003-1954-6284>

### Referencias bibliográficas

- Berra, T. (2007). Freshwater Fish Distribution. The University of Chicago Press. Chicago, USA. 606 p.
- Castello, L., Stewart, D. J., & Arantes, C. C. (2011). Modeling population dynamics and conservation of arapaima in the Amazon. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(3), 623-640. <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9197-z>
- Castello, L., & Stewart, J. (2010). Assessing CITES non-detriment findings procedures for *Arapaima* in Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 26(1), 49-56. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2009.01355.x>
- Castro-Ruiz, D., Andree, B., Magris, J., Fernández-Méndez, C., García-Dávila, C., Gisbert, E., & Darias, M. J. (2022). DHA-enrichment of live and compound feeds influences the incidence of cannibalism, digestive function, and growth in the neotropical catfish *Pseudoplatystoma punctifer* (Castelnau, 1855) during early life stages. *Aquaculture*, 567, 738667. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738667>
- Carvalho, F., Power, M., Forsberg, B. R., Castello, L., Martins, E. G., & Freitas, C. E. C. (2018). Trophic Ecology of *Arapaima* sp. in a ria lake—river-floodplain transition zone of the Amazon. *Ecology of Freshwater Fish*, 27(1), 237-46. <https://doi.org/10.1111/eff.12341>
- Cavero, B., Ituassú, D., Pereira-Filho, M., Roubach, R., Moreira, A., da Fonseca, F., & Akifumi, E. (2004). Uso de alimento vivo como dieta inicial no treinamento alimentar de juvenis de pirarucu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(8), 1011-1015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000800015>
- Cortegano, C. A. A., Godoy, L. C., Petenuci, M. E., Visentainer, J. V., Gusmão, E., & Gonçalves, L. (2017). Nutritional and lipid profiles of the dorsal and ventral muscles of wild pirarucu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 271-276. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000400007>
- Chu Koo, F., Fernández-Mendez, C., Alfaro, C., Darias, M. J., García-Dávila, C., García, A., Martin, S., Campos, L., Alvan-Aguilar, M., Rengifo, J., Llerena, L., Renno, J. F., & Arbildo-Ortiz, H. (2017). El cultivo del paiche: biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas. Primera edición. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP y Gobierno Regional de Loreto. Iquitos, Loreto, Perú. 110 p.
- Dantas, F. M., Santana, T. M., Kojima, J. T., Fonseca, F. A. L., Lopes, A. C. C., Carvalho, T. B., & Gonçalves, L. U. (2022). Pirarucu larviculture in green water provides heavier fish and modulates locomotor activity. *Acta Amazonica*, 52, 114-121. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202100932>
- Darias, M. J., Estivals, G., Andree, K., Fernández, C., Bazán, R., Cahu, C., Gisbert, E., Castro-Ruiz, D. (2025). Histological and molecular characterization of the digestive system of early weaned juveniles of *Arapaima* sp. reared in a recirculating aquaculture system. *PLoS One*, 20(5), e0323012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323012>
- Darias, M. J., Castro-Ruiz, D., Estivals, G., Quazuguel, P., Fernández-Méndez, C., Núñez, J., Clota, F., Guilles, S., García-Dávila, C., Gisbert, E., & Cahu, (2015). Influence of dietary protein and lipid levels on growth performance and the incidence of cannibalism in *Pseudoplatystoma punctifer* (Castelnau, 1855) larvae and early juveniles. *Journal of Applied Ichthyology*, 31, 74-82. <https://doi.org/10.1111/jai.12978>
- de Alcántara, A. M., da Fonseca, F. A., Araújo-Dairiki, T., Faccioli, C., Vicentini, C., da Conceição, L., & Gonçalves, L.U. (2019). Ontogeny of the digestive tract of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes: Arapaimidae) larvae. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50(1), 231-241. <https://doi.org/10.1111/jwas.12545>
- Ferraris, R., Tan, J., & De La Cruz, M. (1987). Development of the digestive tract of milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal): Histology and histochemistry. *Aquaculture*, 61(3-4), 241-257. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90153-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90153-0)
- Fernández-Méndez, C., Castro-Ruiz, D., García-Dávila, C., Duponchelle, F., Renno, J. F., & Nuñez, J. (2012). Adaptación, crecimiento y supervivencia de alevines de doncella *Pseudoplatystoma punctifer* al consumo de alimento balanceado. *Folia Amazónica*, 27(1-2). <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1-2.33>
- Fernández-Méndez, C., Gómez, A., Bayeto, S., Gonzales-Flores, A., Marichin, J., & Ramírez-Chirinos, C. (2017). Artemia en la adaptación al consumo de alimento balanceado de paiche *Arapaima gigas*. *Folia Amazónica*, 26(2), 187-194. <https://doi.org/10.24841/fa.v26i2.439>
- Gonçalves, L. U., França, L. A., Epifanio, C. M., da Fonseca, F. A. L., de Alcántara, A. M., do Nascimento, R. G., Silva, E. N. S., & Conceição, L. E. C. (2019). Ostracoda impairs growth and survival of *Arapaima gigas* larvae. *Aquaculture SOS*, 505, 344-350. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.012>
- Gurdak, D., Stewart, D., Castello, L., & Arantes, C. (2019) Diversity in reproductive traits of arapaima (*Arapaima* spp., Müller, 1843) in Amazonian várzea floodplains: Conservation implications. *Aquatic Conservation*, 29(2), 245-57. <https://doi.org/10.1002/aqc.3030>
- Ismíño, R., Araujo, J., Vargas, S., Ruiz, K., Arbildo, H., & Alvan-Aguilar, M. (2020). Desarrollo del cladócero nativo *Ceriodaphnia* sp con clorofitas (*Scenedesmus* sp y *Chlorella* sp) en condiciones de laboratorio. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(1), e17555. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17555>
- Jacobi, C., Villamain, F., Campos-Silva, J. V., Jardine, T., & Magnusson, W. E. (2020). Feeding of *Arapaima* sp.: integrating stomach contents and local ecological knowledge. *Journal of Fish Biology*, 97(1), 265-272. <https://doi.org/10.1111/jfb.14372>
- Nelson, J., Grande, T., & Wilson, M. (2016). Fishes of the World. 5th Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Palomino Ramos, A. R., & Moyano López, F. J. (2024). Digestive Physiology, Nutrition and Feeding of *Arapaima gigas*: A Review. *Fishes*, 9, 507. <https://doi.org/10.3390/fishes9120507>
- Ruiz-Tafur, K., Dávila-Panduro, L., Palomino-Trigos, V. Y., Yahuarcani-Tamiche, C., Alván-Aguilar, M. A., Ayarza-Rengifo, J., & Chu koo, F. W. (2017). Desarrollo larval del paiche o pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). *Folia Amazónica*, 26(1), 59-74. <https://doi.org/10.24841/fa.v26i1.419>

- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods*, 9(7), 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Stewart, D. (2013a). A New Species of *Arapaima* (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) from the Solimões River, Amazonas State, Brazil. *Copeia*, 2013(3), 470–476. <https://doi.org/10.1643/CI-12-017>
- Stewart, D. (2013b). Re-description of *Arapaima agassizii* (Valenciennes), a Rare Fish from Brazil (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae). *Copeia*, 2013(1), 38–51. <https://doi.org/10.1643/ci-12-013>
- Saint-Paul, U. (1986). Potential for aquaculture of South American freshwater fishes: A review. *Aquaculture*, 54(3), 205–240. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90329-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90329-7)
- Trejo-Albarrán, R., Gómez-Márquez, J. L., Granados Ramírez, J. G., Trujillo Jiménez, P., Castro Franco, R., Bustos Zagal, G., & Granjeno Colín, A. E. (2024). Cladóceros presentes en ecosistemas acuáticos de Morelos, México, con posibilidad de uso como alimento vivo. *Acta universitaria*, 34, 1–18. <http://doi.org/10.15174/au.2024.4026>
- Yúfera, M., & Darias, M. J. (2007). The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. *Aquaculture*, 268(1–4), 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.050>